

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CONCEPTION ET MISE À L'ESSAI D'UN DISPOSITIF DE FORMATION
PORTANT SUR LE CHANGEMENT CONCEPTUEL EN ÉLECTRICITÉ ET
DESTINÉ AUX ENSEIGNANTS DU PRIMAIRE

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN EDUCATION

PAR
MARIE-NOËL BÊTY

SEPTEMBRE 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

*À ma grand-mère Simone,
qui aurait beaucoup aimé avoir la chance d'étudier*

*À Sophie, ma grande amie si inspirante
et toujours présente, comme un seul homme*

*« Those who can, do.
Those who understand, teach. »
Lee S. Schulman*

REMERCIEMENTS

Cette thèse n'aurait pas pu aboutir sans l'aide des personnes suivantes, que je tiens à remercier.

Merci à mon directeur de recherche, Patrice Potvin, pour son accompagnement continu et attentionné tout au long de mon parcours au doctorat. Je le remercie pour ses lectures minutieuses, sa très grande disponibilité, pour nos discussions qui m'aidaient à prendre du recul pour mieux avancer et pour ses commentaires qui m'ont incitée à améliorer ma rédaction sans relâche.

Merci à mon codirecteur de recherche, Patrick Charland, pour ses commentaires judicieux et ses encouragements.

Merci à Marcel Thouin, pour son soutien et son intérêt pour ma recherche.

Merci à Carole Raby, Sylvie Barma et Diane Gauthier pour leurs commentaires pertinents qui ont contribué à enrichir ma thèse.

Merci à Christiane Gohier, Serge Robert et Renald Legendre, pour leurs cours si riches et pour tout ce que j'ai eu la chance d'apprendre auprès d'eux. L'amalgame de leur passion et de leur expertise représente pour moi une grande source d'inspiration.

Merci aux enseignants, aux conseillers pédagogiques et aux directions des commissions scolaires qui ont généreusement accepté de participer à ma recherche.

Merci aux membres de l'équipe de l'EREST, pour nos échanges lors des midis-pizzas.

Merci à mes parents, pour leurs encouragements, leur disponibilité, leur générosité et pour leur aide. Et un grand merci à ma sœur, pour sa relecture attentive de ma thèse et pour le modèle de persévérance qu'elle représente pour moi en ayant elle-même accompli un doctorat contre vents et marées.

Merci à mes amis des diverses sphères de ma vie. Merci à mes amis au doctorat en éducation, avec qui je me sentais comprise à chaque étape. Merci à mes chers amis Sophie, Julie, Vanessa, Véronique, Ismaïl, Charles et Caroline pour leur présence et leur enthousiasme à m'aider à me changer les idées et me divertir et pour leur compréhension lorsque j'ai dû m'isoler pour travailler et rédiger. Un merci tout spécial à Sophie, pour son intérêt pour ma thèse et ses conseils comme formatrice experte. Merci également à mes esperluettes chéries, à mes amis de la Caserne 18-30 et à ceux de la communauté de tango avec qui j'ai pu bouger et créer dans un registre ludique et artistique.

Merci à mon précieux petit mousquetaire, dont la bonne humeur contagieuse était toujours bienvenue.

Finalement, je remercie le département de didactique de l'Université à Montréal qui a cru en moi en m'offrant un poste avant la fin de mon doctorat, le LabMÉCAS pour l'utilisation des portables ainsi que l'EREST, la Faculté des sciences de l'éducation de l'UQAM et le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada pour les bourses dont j'ai bénéficié pour avoir la chance de me consacrer à cette thèse.

AVANT-PROPOS

Cet avant-propos permet de situer cette thèse dans mon parcours académique ainsi que dans mon parcours comme enseignante et formatrice.

Mon parcours académique, ininterrompu, a toujours été animé par ma passion pour les sciences. Mon cheminement en témoigne : un DEC en sciences de la nature, quelques cours en biochimie à l'Université, un baccalauréat en enseignement au primaire avec un fort intérêt pour l'enseignement des sciences, puis une maîtrise ainsi qu'un doctorat en didactique des sciences. Évidemment, lorsque j'ai enseigné au primaire, ce penchant pour les sciences m'animait toujours.

La situation de l'enseignement des sciences dans les écoles où j'ai enseigné m'a déçue. Cette matière est souvent laissée pour compte, mes collègues consacrant peu de temps à l'enseignement des sciences. Pour ma part, j'ai allié mes connaissances scientifiques à mon expérience acquise dans une école de pédagogie Freinet et au constructivisme; je proposais des problèmes et des activités avec manipulations aux élèves pour les intéresser et les impliquer dans leur compréhension de divers phénomènes scientifiques abordés en classe. Par mon enthousiasme pour les sciences, j'ai tenté d'encourager et de soutenir mes collègues dans l'enseignement de cette matière scolaire, mais plus souvent qu'autrement, je me retrouvais avec le mandat de faire des sciences à la place des autres, les enseignants me confiant leurs élèves... Cette organisation faisait en sorte que les élèves avaient la chance de davantage côtoyer les sciences, mais pas leur enseignant...

J'ai toujours eu à cœur que les élèves puissent avoir la chance d'expérimenter afin de s'approprier et de comprendre différents phénomènes. Depuis que je suis aux cycles supérieurs et que j'enseigne à la formation initiale la didactique des sciences, je tente d'outiller les enseignants et les futurs enseignants en ce sens. Sans prétendre pouvoir redresser la situation, j'estime que ma contribution à la cause de l'enseignement des sciences au primaire peut être faite par la formation ainsi que par le biais de la recherche dans le champ de la didactique des sciences au primaire. Ma motivation prend source dans mon désir de voir un apprentissage et un enseignement des sciences plus efficaces dans les écoles primaires.

Cette aspiration m'a animée au point de m'amener à poursuivre aux études supérieures et à m'impliquer dans ma maîtrise. Au départ, je souhaitais faire une recherche collaborative ou une recherche-action sur l'accompagnement des enseignants du primaire en sciences. Toutefois, en commençant à lire sur la didactique des sciences, les textes du champ de recherche du changement conceptuel (CC) ont retenu mon attention. Ce champ de recherche m'est apparu très documenté et pertinent pour l'enseignement, mais il semblait être à la fois polysémique et ne pas être traduit de façon à ce que les enseignants puissent utiliser ce cadre pour enseigner les sciences. Ainsi, lors de ma maîtrise, j'ai voulu contribuer à établir un pont entre les recherches sur le CC et la pratique. Mon mémoire a en effet contribué à établir le portrait des principaux modèles de CC et à mettre en exergue les pratiques d'enseignement découlant de ces modèles. Cette recherche théorique était le début seulement de ce pont entre les recherches et les praticiens.

Mon projet doctoral est la poursuite de ce pont à établir entre les recherches sur le CC et les enseignants du primaire. En prenant appui sur l'analyse des modèles réalisée dans le cadre de mon mémoire, ma thèse permet de réaliser un pas de plus pour communiquer aux enseignants les pratiques d'enseignement favorisant le CC. En effet, l'objectif de mon projet doctoral est la conception d'une formation sur le CC

qui permettra aux enseignants de se familiariser avec les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC. Le mémoire représente donc les fondements théoriques nécessaires à la conception de la formation de ce projet doctoral. Le cadre théorique de cette thèse donne un aperçu de ces fondements sans toutefois reprendre toute l'étude effectuée pour le mémoire.

Cette thèse se veut donc une humble contribution pour favoriser l'enseignement des sciences au primaire et pour documenter le développement efficace d'une formation en sciences pour les enseignants du primaire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	xiv
LISTE DES TABLEAUX.....	xvi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xviii
RÉSUMÉ.....	xix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	
PROBLÉMATIQUE	4
1.1 L'importance de l'apprentissage des sciences	4
1.2 Le difficile apprentissage des sciences	5
1.3 Plusieurs recherches sur les conceptions initiales et le changement conceptuel	6
1.3.1 Le changement conceptuel et le constructivisme	7
1.3.2 Le changement conceptuel abordé théoriquement et empiriquement	7
1.4 L'enseignement des sciences au primaire	10
1.4.1 Le manque de connaissances scientifiques des enseignants et l'application du programme de science et technologie au primaire.....	10
1.4.2 Le manque de connaissances didactiques chez les enseignants et leurs approches de l'enseignement des sciences	13
1.5 La formation des enseignants en sciences.....	17
1.5.1 La prise en compte des caractéristiques des enseignants dans un dispositif de formation sur le changement conceptuel	18

1.5.2	Un dispositif de formation sur le changement conceptuel en cohérence avec celui-ci	20
1.6	Conclusion du chapitre et question générale de recherche	21
CHAPITRE II		
	CADRE THÉORIQUE	23
2.1	La formation continue efficace	23
2.2	Le changement conceptuel	29
2.2.1	Le changement conceptuel et le constructivisme	30
2.2.2	Le changement conceptuel, un concept en didactique	31
2.2.3	Le changement conceptuel, un difficile processus d'apprentissage scolaire	32
2.2.4	Des modèles de changement conceptuel	34
2.2.5	Les indications pratiques qui découlent des modèles de changement conceptuel	46
2.3	Les conceptions sur les circuits électriques simples	49
2.4	Enseigner en tenant compte des conceptions en électricité	54
2.5	Conclusion du chapitre.....	57
CHAPITRE III		
	CADRE MÉTHODOLOGIQUE	64
3.1	La recherche développement et l'ingénierie didactique.....	64
3.2	La démarche de la recherche.....	66
3.2.1	L'ingénierie didactique.....	66
3.2.2	La recherche développement selon Harvey et Loïselle (2009)	68
3.2.3	Amalgame des méthodologies de l'ingénierie didactique et de la recherche développement.....	68
3.3	Les difficultés à surmonter dans ce type de recherche.....	72

3.4	Les avantages de ce type de recherche et les critères de scientificité	74
3.5	Conception du dispositif de formation	77
3.6	Les hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> : les apprentissages visés.....	79
3.7	Instrumentation et données	80
3.7.1	Nature des données, posture et approches de la recherche.....	80
3.7.2	Experts, sujets et déontologie	81
3.7.3	Outils de collecte de données	83
3.8	Les niveaux d'écriture des données	88
3.9	Analyse des données	89
3.10	Opérationnalisation de l'analyse	91
3.11	Conclusion du chapitre.....	92
CHAPITRE IV		
	RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION	93
4.1	Déroulement du processus du développement et de la collecte des données	94
4.1.1	Analyse préalable	95
4.1.2	Conception et analyse <i>a priori</i>	95
4.1.3	Mise à l'essai fonctionnelle de la formation et collecte des grilles de validation auprès des experts.....	96
4.1.4	Première mise au point de la formation.....	96
4.1.5	Entrevue 1 et questionnaire préformation (groupe 1).....	97
4.1.6	Mise à l'essai empirique de la formation (groupe 1).....	97
4.1.7	Deuxième mise au point de la formation.....	99
4.1.8	Réception des planifications des enseignants (groupe 1).....	102
4.1.9	Captations vidéo dans les classes des enseignants du groupe 1	103

4.1.10	Entrevue 1 et questionnaire préformation (groupe 2)	103
4.1.11	Mise à l'essai empirique de la formation (groupe 2)	104
4.1.12	Captations vidéo dans les classes des enseignants du groupe 2	105
4.1.13	Entretien de groupe (groupe 1, puis groupe 2)	105
4.1.14	Entrevue 2 et questionnaire postformation (groupes 1 et 2)	106
4.1.15	Analyse <i>a posteriori</i>	106
4.1.16	Mise au point finale de la formation	107
4.1.17	Conclusion sur le déroulement des mises à l'essai, des mises au point ainsi que de la collecte des données	107
4.2	Portrait des caractéristiques des enseignants et de leur enseignement des sciences (OS1)	107
4.2.1	Convergence des deux groupes	109
4.2.2	Divergence des deux groupes	111
4.2.3	Conclusion à l'égard du portrait des caractéristiques des enseignants et de leur enseignement des sciences	112
4.3	Analyse <i>a posteriori</i> des apprentissages des enseignants par rapport aux concepts en électricité, aux pratiques d'enseignement favorisant le CC et aux pratiques d'enseignement particulières à l'enseignement de l'électricité (OS2) ..	113
4.3.1	Apprentissages relatifs aux concepts en électricité réalisés par les enseignants (OS2)	113
4.3.2	Apprentissages relatifs aux pratiques d'enseignement réalisés par les enseignants (OS2)	137
4.4	Résultats de l'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace (OS3)	165
4.4.1	Aborder un contenu en précisant la théorie qui le sous-tend	166
4.4.2	Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation	173

4.4.3 Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs.....	176
4.4.4 Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées	181
4.4.5 Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé.....	183
4.4.6 Autres éléments pertinents émergents du vécu de la formation	186
4.4.7 Conclusion de la section des résultats sur l'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace.....	188
4.5 Synthèse des résultats pour la conception de la mise au point finale de la formation (OG).....	189
CHAPITRE V	
DISCUSSION	191
5.1 Les apprentissages des enseignants.....	191
5.1.1 Forces de la recherche pour les apprentissages des enseignants	191
5.1.2 Liens entre les apprentissages en électricité et ceux des pratiques d'enseignement favorisant le changement conceptuel	193
5.1.3 Le transfert des pratiques d'enseignement	194
5.2 Les paramètres d'une formation efficace opérationnalisés	199
5.3 Le processus de développement : l'association de l'ingénierie didactique et de la recherche développement	200
5.3.1 Les forces de l'association des deux méthodes de recherche	200
5.3.2 Améliorations du processus de développement envisagées	201
5.4 Les limites de la recherche	203
CONCLUSION	205

APPENDICE A	
PLANIFICATION DE LA FORMATION APRÈS SA	
MISE AU POINT FINALE	211
APPENDICE B	
DOCUMENTS ENVOYÉS AUX EXPERTS POUR LA	
MISE À L'ESSAI FONCTIONNELLE.....	272
APPENDICE C	
DÉONTOLOGIE	279
APPENDICE D	
QUESTIONNAIRE SUR LES CONCEPTS EN ÉLECTRICITÉ	
(PRÉFORMATION ET POSTFORMATION).....	286
APPENDICE E	
GUIDE DE QUESTIONS POUR LES ENTREVUES SEMI-DIRIGÉES	
AVEC LES ENSEIGNANTS PARTICIPANTS (PRÉFORMATION ET	
POSTFORMATION).....	305
APPENDICE F	
GUIDE DE L'ENTRETIEN DE GROUPE.....	311
RÉFÉRENCES.....	316

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Les modèles mentaux résultent des théories naïves selon le modèle de Vosniadou (1994).....	37
2.2 Différents modèles mentaux de la Terre	39
2.3 Les éléments systématisés dans une classe de coordination	41
2.4 Les conceptions modelées par les différents environnements de l'élève.....	43
2.5 La transformation des conceptions.....	44
2.6 La conception <i>modèle de l'unipôle</i>	50
2.7 La conception <i>modèle du courant qui faiblit</i>	51
2.8 La conception <i>modèle du courant qui se rencontre</i>	52
2.9 Conception du court-circuit.....	53
3.1 Étapes de la recherche	70
3.2 Exemple d'item du test de Sencar et Eryilmaz	85
3.3 Les étapes de la présente recherche développement et les moments de collecte de données associés.....	88
4.1 Les étapes de la présente recherche développement et les moments de collecte de données associés.....	94
4.2 Extrait de la question 2 du questionnaire	117
4.3 Extrait de la question 9 du questionnaire	117
4.4 Extrait de la question 5 du questionnaire	119

4.5	Extrait de la question 7 du questionnaire	120
4.6	Extrait de la question 8 du questionnaire	121
4.7	Extrait de la question 6 du questionnaire	122

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Complémentarité des composantes et paramètres d'une formation.....	26
2.2. Les conditions qui favorisent le CC selon Posner et ses collègues (1982) ainsi que l'écologie conceptuelle qui permet d'opérationnaliser ces conditions.....	35
2.3 Modèles de changement conceptuel et sens accordé à « conceptions » et à « processus de changement » par les auteurs.....	45
2.4 Convergences des indications pour la pratique d'enseignement favorisant le changement conceptuel	48
2.5 Synthèse des éléments du cadre théorique à considérer pour la conception de la formation	59
3.1 Opérationnalisation des étapes de la présente recherche	71
3.2 Opérationnalisation des paramètres dans la conception initiale de la formation	77
3.3 Les données et les objectifs de recherche en fonction des outils employés.....	87
4.1 Changements survenus entre la formation planifiée après la première mise au point et celle telle que vécue lors de la mise à l'essai empirique (groupe 1).....	98
4.2 Dates des rencontres de formation de chaque groupe en 2011	100
4.3 Changements inscrits dans la formation après sa deuxième mise au point.....	101
4.4 Changements survenus entre la formation planifiée après la deuxième mise au point et le déroulement vécu lors de la mise à l'essai empirique (groupe 2)	104
4.5 Portrait des caractéristiques des enseignants qui ont participé aux mises à l'essai et de leur enseignement des sciences	108
4.6 Les correspondances entre les hypothèses <i>a priori</i> , les numéros de question du questionnaire et le contexte de la question.....	114

4.7 Réponses réussies par les enseignants de chaque groupe dans les questionnaires préformation et postformation, par concept et question.....	115
4.8 Le progrès par sujet aux réponses attendues dans les questionnaires	128
4.9 Les apprentissages réalisés en électricité chez les enseignants des deux groupes et les recommandations pour la mise au point finale de la formation.....	135
4.10 Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques favorisant le CC visées par les hypothèses <i>a priori</i> associées à la structuration des contenus et documentées dans les planifications et les vidéos	140
4.11 Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques visées par les hypothèses <i>a priori</i> associées à la structuration des contenus en électricité et documentées dans les planifications et les vidéos.....	143
4.12 Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques visées par les hypothèses <i>a priori</i> associées aux processus favorisant le CC et documentées dans les planifications et les vidéos.....	148
4.13 Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques d'enseignement visées par les hypothèses <i>a priori</i> associées aux processus en électricité et documentées dans les planifications et les vidéos	153
4.14 Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques visées par les hypothèses <i>a priori</i> associées au cadre organisationnel et documentées dans les planifications et les vidéos.....	157
4.15 Présentation de l'atteinte des apprentissages visés par les hypothèses <i>a priori</i> concernant la pratique d'enseignement ainsi que des recommandations pour la mise au point finale de la formation.....	163
4.16 Propositions d'autres pratiques d'enseignement pouvant favoriser le CC ou l'apprentissage en sciences	165
4.17 Recommandations pour l'amélioration des paramètres d'une formation efficace pour la mise au point finale de la formation	188
4.18 Synthèse des recommandations pour la conception de la mise au point finale de la formation	190

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

CC : changement conceptuel

OG : Objectif général de recherche

OS1 : Objectif spécifique 1

OS2 : Objectif spécifique 2

OS3 : Objectif spécifique 3

RÉSUMÉ

Les enseignants du primaire éprouvent généralement de l'inconfort par rapport à l'enseignement des sciences, particulièrement en physique, notamment en électricité (Martin, Mullis, Gonzalez et Chrostowski, 2004). Ils emploient souvent des approches de type transmissif, lesquelles n'incitent guère l'élève à vivre un changement conceptuel (CC). Les enseignants gagneraient conséquemment à se familiariser avec les pratiques qui favorisent le CC (Duit, Treagust et Widodo, 2008). Pour ce faire, il apparaissait nécessaire de développer un dispositif de formation portant sur le CC en électricité destiné aux enseignants du primaire.

Un amalgame de la recherche développement (Harvey et Loiselle, 2009) et de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) a permis la conception du dispositif. En cohérence avec ces méthodes de recherche, des hypothèses *a priori* d'apprentissage pour les enseignants ont été formulées et des boucles de mise à l'essai et de mise au point du dispositif de formation ont été prévues. Chaque itération visait l'amélioration de la formation. Ce dispositif a comme fondements les paramètres d'une formation efficace (Blank et de las Alas, 2010; Joyce et Showers, 2002), les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC (Bêty, 2009) ainsi que sur les recherches qui ont porté sur les conceptions fréquentes en électricité et sur l'enseignement qui en tient compte (Cepni et Keles, 2006; Engelhardt et Beichner, 2004; Summers, Kruger et Mant, 1998).

Les résultats de l'étude sont présentés en cinq volets. Tout d'abord, un portrait des enseignants qui ont participé aux mises à l'essai de la formation a été dressé. Les enseignants participant à l'étude présentent d'ailleurs plusieurs des caractéristiques qui sont généralement observées et rapportées dans les écrits scientifiques. Ensuite, le processus de développement détaillé montre qu'il a été conforme à ce qui était prévu dans la méthodologie, mis à part le fait que les deux cohortes participantes se sont légèrement chevauchées dans le temps. Le volet suivant concerne les hypothèses *a priori* formulées quant aux apprentissages en électricité, aux pratiques favorisant le CC en général et quant à celles favorisant l'apprentissage de l'électricité. Les enseignants ont progressé dans leurs connaissances de l'électricité, surtout ceux du groupe 2, qui ont vécu une version améliorée de la formation par rapport aux enseignants du groupe 1. Pour ce qui est des pratiques d'enseignement, tous les enseignants ont utilisé et déclaré utiliser des pratiques favorisant le CC en général.

Certaines des pratiques particulières à l'apprentissage de l'électricité ont toutefois été moins observées et moins déclarées. En comparant la réussite des deux groupes qui se sont succédés lors des mises à l'essai, il appert que les enseignants du 2^e groupe, qui ont été les plus à l'aise avec le contenu en électricité à la fin de la formation, sont également ceux qui ont le mieux intégré les notions plus difficiles à leur planification et à leur enseignement (courant, tension, résistance). Ils ont également le plus fréquemment effectué de retours sur les concepts avec leurs élèves. De plus, les données témoignent selon nous d'une opérationnalisation appropriée des paramètres d'une formation efficace, cette dernière ayant en effet gagné en efficacité à chaque itération selon les données des apprentissages des enseignants. Enfin, l'ensemble de ces résultats a permis de formuler et de justifier les modifications à apporter à la formation et de proposer un dispositif de formation validé.

Cette recherche entraîne des retombées pour les chercheurs quant à l'opérationnalisation du cadre théorique pour développer le dispositif, à l'amalgame novateur de l'ingénierie didactique et de la recherche développement et quant aux apprentissages que les enseignants ont réalisés. Cette recherche entraîne également des retombées pratiques pour les enseignants et les conseillers pédagogiques, qui disposent d'un dispositif de formation validé et efficace ainsi que de maints outils didactiques pour enseigner l'électricité selon le CC aux élèves. Cette recherche ouvre également diverses possibilités de recherche dont une exploration du transfert des pratiques d'enseignement du CC par les enseignants d'un champ conceptuel à un autre ou une recherche sur les différentes façons d'amener les élèves à s'approprier les concepts.

Mots clés : changement conceptuel, formation des enseignants, enseignement de l'électricité, ingénierie didactique, recherche développement, enseignement des sciences au primaire

INTRODUCTION

Certains apprentissages en sciences¹ sont difficiles puisqu'ils exigent des jeunes élèves de poser un nouveau regard sur les phénomènes, un regard plus rationnel et plus en cohérence avec les savoirs scientifiques au programme. De nombreuses recherches ont porté sur cette difficulté : des recherches sur le changement conceptuel (CC). Le CC concerne l'évolution, le changement, des conceptions des élèves lors de l'apprentissage; le passage de conceptions initiales, préscientifiques, à des conceptions plus scientifiques. Des chercheurs ont modélisé le processus abstrait du CC et ont développé des modèles pour le décrire et l'expliquer.

Ces recherches sont riches d'implications pour l'enseignement des sciences, mais restent somme toute abstraites et peu accessibles aux enseignants. Les enseignants du primaire sont inconfortables avec cette matière scolaire, et particulièrement avec les contenus en physique, dont ceux en électricité (Martin, Mullis, Gonzalez et Chrostowski, 2004). Ils emploient souvent des approches de type transmissif où l'élève est passif, ce qui n'incite guère ce dernier à poser un regard différent sur les phénomènes naturels. Ces enseignants possèdent donc une conception de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences qui ne cadre pas avec les recherches sur le CC, lesquelles incitent à adopter une approche constructiviste. Selon les résultats de cette tradition de recherche, les enseignants du primaire gagneraient donc

¹ Généralement, dans cette thèse, la matière scolaire sera nommée *sciences* étant donné qu'elle porte sur des concepts de sciences. Dans les cas où il sera question du programme (Ministère de l'Éducation du Québec, 2001), l'expression *Science et technologie* sera employée.

à se familiariser avec les implications didactiques des recherches sur le CC pour mieux enseigner les sciences et se sentir plus confortables avec cette matière scolaire.

Si beaucoup de recherches portent sur l'apprentissage des élèves et sur le CC, peu de recherches portent sur les enseignants du primaire quant à l'emploi de pratiques qui découlent du CC. Quelques initiatives ont porté sur l'enseignement constructiviste en général en lien avec l'environnement d'apprentissage (Fraser, 2007; Taylor, Fraser et Fisher, 1997). À notre connaissance, aucune recherche n'a porté sur la communication et la vulgarisation du processus du CC auprès des enseignants du primaire ni sur les apprentissages qu'en tireraient les enseignants. Il y a donc lieu de développer un dispositif de formation basé sur les recherches sur le CC en tenant compte des difficultés documentées des enseignants du primaire en sciences.

La présente recherche consiste donc à établir un pont entre les implications didactiques issues de ces recherches sur le CC et les enseignants. Les connaissances actuelles ont permis d'élaborer le dispositif de formation tout en posant des hypothèses à propos des apprentissages des enseignants pendant la formation. Puis, les données recueillies lors des mises à l'essai ont permis d'évaluer si les apprentissages visés chez les enseignants ont été réalisés ainsi que d'améliorer la formation.

Le *Chapitre I – Problématique* explicite le contexte de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences au primaire ainsi que le problème de l'écart qui existe entre la théorie du CC et la pratique de l'enseignement des sciences au primaire.

La formation, le CC, les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC, les conceptions en électricité et les pratiques particulières à l'enseignement de l'électricité sont les notions abordées dans le *Chapitre II – Cadre théorique*. Ce chapitre a servi de fondement pour conceptualiser la formation des enseignants et

pour formuler les hypothèses des apprentissages visés chez les enseignants participant à l'étude.

Le Chapitre III – Cadre méthodologique précise les phases de la méthodologie de la recherche développement (Harvey et Loisel, 2009) et de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) adaptées à la présente recherche. Y seront explicités la démarche de la recherche ainsi que les techniques et outils pertinents à la collecte de données, essentiellement qualitatives.

Le Chapitre IV – Résultats et interprétation présente d'abord le déroulement et le contexte de la recherche. Le portrait des enseignants qui ont participé aux mises à l'essai est ensuite dressé. Puis, les données recueillies permettant d'analyser les effets de la formation chez les enseignants sont présentés. Ces données indiquent si la formation a permis aux enseignants de se familiariser avec les concepts en électricité ainsi qu'avec les pratiques qui favorisent le CC. Ensuite, l'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace est discutée. En fin de chapitre, l'ensemble des recommandations qui guident la mise au point finale de la formation est réuni dans une dernière synthèse. La planification de la formation après sa mise au point finale se trouve dans l'appendice A.

Le Chapitre V – Discussion fait finalement le point sur les apprentissages que les enseignants ont réalisés ainsi que sur le processus de développement en tant que tel.

Enfin, la conclusion décrit succinctement le processus de cette recherche, les grandes lignes des résultats et ouvre sur les recherches ultérieures à réaliser.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Les premières sections de cette problématique portent sur l'apprentissage des sciences : sur son importance ainsi que sur les difficultés qui s'y rattachent. Les sections suivantes révèlent un portrait succinct des recherches effectuées dans le champ de recherche des conceptions des élèves et du CC. Le contexte de l'enseignement des sciences au primaire, lequel comporte quelques difficultés pour les enseignants, est ensuite présenté. L'intérêt de développer un dispositif de formation à propos du CC pour les enseignants du primaire, étant donné le potentiel du CC, est souligné avant de préciser la question générale de recherche.

1.1 L'importance de l'apprentissage des sciences

Cette section précise l'importance de la présence des sciences au curriculum, dès le primaire. En effet, les sciences sont pertinentes pour tous : elles permettent de comprendre le monde qui nous entoure (Ministère de l'Éducation du Québec [MEQ], 2001), favorisent le développement global de l'enfant (OCDE, 2007) et permettent aux élèves de devenir des citoyens ainsi que des consommateurs éclairés (Duit et Treagust, 2003; OCDE, 2001). Pour plusieurs, les grands accomplissements que les humains ont réalisés au moyen des sciences méritent d'être appris à l'école (Driver et Osborne, 1998, cités par Duit et Treagust, 2003). Dans le contexte où l'école est le premier lieu de développement de la culture scientifique et un outil pour sa

démocratisation (Conseil de la science et de la technologie [CST], 2006), et étant donné ces raisons utiles, économiques, sociales, éducatives, culturelles et démocratiques, il apparaît naturel de retrouver *Science et technologie* comme matière scolaire obligatoire dès le deuxième cycle du primaire dans le *Régime pédagogique de l'éducation préscolaire, de l'enseignement primaire et de l'enseignement secondaire* (Gouvernement du Québec, 2005).

1.2 Le difficile apprentissage des sciences

L'apprentissage des sciences comporte cependant des difficultés inhérentes à sa nature puisqu'il exige l'adoption d'un nouveau regard sur le monde (Duit, 1991). C'est aussi le cas dans d'autres domaines, mais particulièrement vrai en sciences en raison de l'expérience personnelle vécue par le contact avec divers phénomènes et en raison de l'existence des obstacles épistémologiques (Bachelard, 1989). Pour Bachelard, « c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique » (Bachelard, 1989, p. 13). Il s'agit ici d'obstacles internes, liés à l'acte de connaître, et non d'obstacles externes liés aux phénomènes. L'esprit, face à la science, est « vieux », alors « accéder à la science, c'est, spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire le passé » (Bachelard, 1989, p. 14). Par rapport à ces obstacles internes, Astolfi et ses collègues soulignent que le fondement même de la didactique des sciences repose sur « la prise de conscience qu'existent des difficultés d'appropriation qui sont *intrinsèques aux savoirs*, difficultés qu'il faut diagnostiquer et analyser avec une grande précision pour faire réussir les élèves » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997a, p. 6). En effet, avant d'arriver en classe, les élèves entretiennent des conceptions initiales² à

² Différents termes sont employés dans les écrits scientifiques pour nommer ces conceptions : conceptions inappropriées, conceptions erronées, conceptions non scientifiques, préconceptions, etc. Dans ce texte, par souci d'uniformité, l'expression *conception initiale* est employée à moins qu'une citation nous amène à employer l'expression spécifique d'un auteur.

propos des phénomènes naturels. En didactique, ces conceptions sont des représentations, « des systèmes de connaissances qu'un sujet mobilise face à une question ou à une thématique, que celle-ci ait fait l'objet d'un enseignement ou pas » (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre et Lahanier-Reuter, 2007, p. 197). Les conceptions initiales en sciences ne s'avèrent pas toujours justes par rapport aux conceptions scientifiques visées par l'enseignement, mais elles sont utiles aux élèves dans leur vie de tous les jours pour expliquer des phénomènes; les élèves sont à même de tirer des lois causales à partir de leur sens commun, de ce qu'ils entendent dire autour d'eux, de leur expérience personnelle, de croyances populaires (Thouin, 2009), de leur épistémologie et de leur ontologie (Vosniadou, 1994). Par exemple, certains élèves pensent que les objets lourds coulent et que les objets légers flottent alors que la flottabilité d'un objet dépend plutôt de la comparaison entre sa masse volumique et la masse volumique du liquide dans lequel il est plongé. De tels cadres interprétatifs interfèrent avec les concepts scientifiques à apprendre en occupant la même niche écologique que ces derniers (Astolfi, Peterfalvi et Vérin, 2006). Ainsi, depuis longtemps les chercheurs s'entendent sur le fait qu'il importe de les prendre en considération lors de l'enseignement des sciences. Comme l'indique Ausubel : « The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly » (1968, p. vi).

1.3 Plusieurs recherches sur les conceptions initiales et le changement conceptuel

Ce problème majeur de l'apprentissage des sciences monopolise d'ailleurs une grande partie des recherches en didactique des sciences. En effet, entre 1998 et 2002, dans les grandes revues scientifiques de la didactique des sciences *International journal of science education*, *Journal of research in science teaching* et *Science education*, 24,7 % des recherches ont porté sur *Learning – Students' conceptions and conceptual change* (Tsai et Wen, 2005). Il y a donc de nombreuses recherches sur les conceptions initiales des élèves et sur le CC (Vosniadou, 2008b).

Ces recherches sur les conceptions initiales contribuent à la compréhension de leur provenance, de leur origine, de la logique qui les occasionne, etc. Des chercheurs ont recensé les conceptions initiales fréquentes et ont créé des recueils de conceptions initiales par disciplines scientifiques et par tranches d'âges d'élèves (Thouin, 2008). Elles contribuent à donner un portrait général de ce que des élèves pensent à propos d'un phénomène. Les conceptions initiales répertoriées se retrouvent fréquemment chez les élèves, mais elles peuvent aussi varier d'un individu à l'autre, ainsi que chez un même individu selon le contexte (Reuter et al., 2007).

Le fait d'en savoir plus sur les conceptions initiales n'indique toutefois pas comment elles changent, évoluent ou se complexifient ni comment elles doivent être considérées lors de l'enseignement ni dans quel paradigme de l'apprentissage elles se situent. Les sections qui suivent portent sur le constructivisme et sur le CC.

1.3.1 Le changement conceptuel et le constructivisme

Le CC s'inscrit dans l'épistémologie constructiviste de l'apprentissage (Legendre, 2002). Le paradigme du constructivisme fait généralement l'unanimité pour expliquer l'apprentissage et l'enseignement des sciences dans les recherches contemporaines (Duit et Treagust, 2003). Au sens large, la conception constructiviste de l'apprentissage signifie que l'élève est placé au cœur de ses apprentissages et qu'il construit ses connaissances. Couture souligne « l'importance de l'engagement actif de l'apprenant dans la construction de sens à partir de ses propres connaissances » (2002, p. 44). Ainsi, pour favoriser le CC, il est attendu que l'élève joue un rôle actif et soit le premier responsable de ses apprentissages.

1.3.2 Le changement conceptuel abordé théoriquement et empiriquement

Le CC est défini comme suit par Duit : « conceptual change denotes learning pathways from students' pre-instructional conceptions to the science concepts to be learned » (1999, cité par Duit et Treagust, 2003, p. 673). Généralement, le CC en

sciences ne fait pas référence à un processus d'acquisition, mais plutôt à un processus de transformation difficile, contre-intuitif et qui ne va pas de soi (Vosniadou, 2008a).

Plusieurs de ces recherches sur le CC ont porté sur l'interprétation de ce processus d'apprentissage pour en développer des modèles (Carey, 1985; Chi et Roscoe, 2002; diSessa, 1993; Giordan, 1989; Posner, Strike, Hewson et Gertzog, 1982; Vosniadou, 1994). Ces modèles de CC constituent « un processus d'abstraction qui contribue à représenter une partie de la réalité de l'action d'apprendre des sciences » (Bêty, 2009, p. 35-36). D'autres recherches ont empiriquement évalué des pratiques qui favorisent le CC par rapport à un enseignement plus traditionnel qui ne tient pas compte des conceptions initiales des élèves (Duit et Treagust, 2012).

L'analyse de ces recherches plus empiriques laisse supposer l'efficacité d'un enseignement qui s'appuie sur le CC. En effet, selon plusieurs études, un enseignement qui s'appuie sur le CC serait plus efficace cognitivement qu'un enseignement traditionnel, que cet enseignement favoriserait donc l'apprentissage des concepts scientifiques (Bryce et MacMillan, 2005; Duit, Treagust et Widodo, 2008; Lee et She, 2010; Piquette et Heikkinen, 2005).

Ces études ne sont pas des méta-analyses, mais sous-entendent clairement que l'enseignement selon des pratiques et principes favorisant le CC est prometteur. L'étude de Bryce et MacMillan (2005), par exemple, est une étude qualitative qui porte sur l'apprentissage du principe d'action-réaction pour les objets au repos. Elle a permis de montrer que, pour plusieurs élèves, l'emploi de l'analogie favorise un CC authentique et une meilleure compréhension de la cause de la force de réaction. La recherche qualitative de Piquette et Heikkinen (2005) porte sur la notion de l'équilibre chimique. Ces auteurs ont répertorié diverses pratiques que les enseignants utilisent pour favoriser le CC, les ont mis en relation avec d'autres recherches qui convergeaient et ont fait également le lien avec les quatre conditions à mettre en place pour favoriser le CC selon le modèle de CC de Posner, Strike, Hewson et Gertzog

(1982). La recherche quantitative de Lee et She (2010) porte quant à elle sur l'apprentissage de la combustion. Les résultats de cette étude permettent de conclure que les élèves du groupe expérimental, qui ont reçu un enseignement basé sur le CC et le raisonnement scientifique, ont mieux appris les concepts que les élèves du groupe ayant reçu un enseignement traditionnel. L'ensemble de ces études incite donc à utiliser des pratiques d'enseignement qui tiennent compte des conceptions initiales des élèves et qui favorisent le CC.

Les études présentées précédemment se sont déroulées au secondaire. Les principes qui en découlent paraissent selon toute vraisemblance pertinents pour l'enseignement des sciences au primaire puisque tout comme les élèves du secondaire, ceux du primaire entretiennent des conceptions initiales au sujet de différents phénomènes scientifiques et technologiques qui rendent l'apprentissage difficile (Thouin, 2009). Tout porte à croire que le CC peut être favorisé auprès des élèves du primaire par ces pratiques d'enseignement. On peut donc qualifier de *principes* (Schulman, 1986) les propositions de pratiques d'enseignement qui favorisent le CC qui ont été testées empiriquement. Il y a lieu de penser qu'un enseignement basé sur ces principes aura des effets positifs au primaire tout comme au secondaire.

Ces études sont concluantes même si elles ne préconisent qu'une petite sélection d'interventions spécifiques au CC, comme l'emploi de l'analogie dans l'étude de Bryce et MacMillan (2005), et non un ensemble d'interventions coordonnées dans le but de susciter le CC. Or, la mobilisation de plusieurs interventions favorise davantage le CC :

quality of instruction is always due to a certain orchestration (Oser & Baeriswyl, 2001) of various instructional methods and strategies. Hence, conceptual change strategies may only be efficient if they are embedded in a conceptual change supporting learning environment that includes many additional features. (Duit et al., 2008, p. 636)

Les pratiques mises en évidence à partir de l'analyse de modèles de CC constituent un ensemble de pratiques à mobiliser pour favoriser le CC.

Cependant, les sections qui suivent montrent que les enseignants du primaire n'enseignent pas les sciences selon ces principes. En effet, en plus d'être un difficile processus d'apprentissage chez les élèves, le CC est peu suscité par les enseignants du primaire.

1.4 L'enseignement des sciences au primaire

Loin de suivre les recommandations découlant des recherches, les enseignants n'adoptent que très peu des pratiques d'enseignement qui favorisent le CC auprès de leurs élèves. D'ailleurs, par rapport à l'enseignement des sciences en général, seulement 34 % des élèves de quatrième année du primaire au Québec ont un enseignant qui se sent bien préparé à enseigner les sciences (Martin et al., 2004). Des lacunes quant au contenu scientifique et quant aux connaissances didactiques engendrent cet inconfort chez les enseignants, qui enseignent peu ou pas les sciences et qui les enseignent de façon transmissive ou dogmatique (lorsqu'ils les enseignent).

1.4.1 Le manque de connaissances scientifiques des enseignants et l'application du programme de science et technologie au primaire

Dans un rapport récent du Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport (MELS, 2006), la difficile prise en compte des savoirs essentiels en science et technologie est soulignée; selon les conseillers pédagogiques, cette matière scolaire serait la plus ardue pour les enseignants du primaire (MELS, 2006, p. 42). En effet, seulement « 50 % des enseignants titulaires de classe ordinaire indiquent trouver « plutôt facile » ou « très facile » la prise en compte des savoirs essentiels du programme de science et technologie » (MELS, 2006, p. 29). Toujours selon ces conseillers, les compétences de *Science et technologie* (ex. : *Proposer des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique*) sont aussi celles qui

sont le plus difficilement développées par les enseignants du primaire, les compétences étant encore plus difficiles à prendre en compte que les savoirs essentiels. De ce fait, la prise en compte des compétences disciplinaires en *Science et technologie* est difficile et le programme de sciences est par conséquent assez peu enseigné au primaire (MELS, 2006). Cette difficulté est compréhensible; les connaissances scientifiques en elles-mêmes ne sont pas nécessairement faciles à appréhender. Duit l'explique ainsi : « Many problems are inherent in the “nature” of science knowledge. Learning science always means learning a totally new point of view » (1991, p. 83).

Les enseignants du primaire sont donc portés à traiter les sciences comme on le ferait pour une matière secondaire et à accorder la priorité aux matières dites « de base » (Conseil supérieur de l'éducation, 2013; Lenoir, Larose, Grenon et Hasni, 2000), même si *Science et technologie* est une matière scolaire obligatoire des deuxième et troisième cycles du primaire, selon le régime pédagogique (Gouvernement du Québec, 2005). Les enseignants du primaire sont en effet des généralistes qui enseignent une variété de matières scolaires et non des spécialistes (Jones et Edmunds, 2006).

Cette situation de l'enseignement des sciences au primaire n'est toutefois pas nouvelle; un pareil constat avait été réalisé dans les années 1990 quant à l'enseignement du programme des sciences de la nature :

Déjà, en 1988-1989, il apparaissait que le programme de sciences de la nature était peu pris en compte par une partie des enseignants du primaire. Une enquête sur l'application du régime pédagogique réalisée auprès de 408 enseignants révélait en effet que, pendant une période d'observation donnée, 13 % d'entre eux n'avaient pas consacré de temps à l'enseignement de cette discipline, alors que 35 % y avaient consacré un temps inférieur à celui prévu dans le régime pédagogique. (MELS, 2006, p. 31)

L'inconfort des enseignants du Québec par rapport à l'enseignement des sciences est également illustré par des résultats du *TIMSS*. L'enquête *TIMSS 2007 Science report*

(Martin, Mullis et Foy, 2008), qui a collecté des données auprès d'élèves et d'enseignants de 4^e année au primaire, présente un portrait de l'enseignement des sciences au primaire notamment pour la juridiction du Québec. Les contenus en physique sont ceux pour lesquels les enseignants se sentent les moins bien préparés. En comparaison avec les élèves des autres pays et juridictions qui ont participé à l'enquête du *TIMSS*, les élèves du Québec sont parmi ceux qui ont un enseignant qui se sent le moins prêt à enseigner les contenus de physique. Seulement 19 % des élèves du Québec ont un enseignant qui se sent bien prêt à enseigner les contenus des sciences physiques; ce pourcentage est de 46 % tous pays et juridictions confondus (Martin et al., 2008). Les enseignants du primaire du Québec ressentent donc un inconfort réel particulièrement, encore une fois, en physique (Martin et al., 2004), notamment en ce qui a trait à l'électricité et aux circuits électriques. Cette situation n'est toutefois pas exclusive au Québec (Martin et al., 2004; Schoon et Boone, 1998; Webb, 1992).

Les lacunes des enseignants par rapport aux concepts en électricité peuvent également être illustrées par les résultats d'études qui ont investigué les conceptions des enseignants. Ces études ont montré que les enseignants partagent souvent les mêmes conceptions initiales que leurs élèves. Ainsi, dans le contexte des circuits simples en électricité, une enseignante du primaire peut entretenir la conception du *courant qui est consommé*, comme une des enseignantes de l'étude de Summers, Kruger et Mant (1998). De tels cas sont rapportés dans plusieurs autres études :

It has been repeatedly shown that pupils, students, and even their teachers (Webb, 1992, Wiles and Wright 1997), as well as practitioners (Borges and Gilbert 1999), share a number of misconceptions about these notions (see, Chan et al. 1998, for a review). These misconceptions were observed in various countries each having distinct educational systems (Shipstone et al. 1988). (Liégeois et Mullet, 2002, p. 551)

Afra et ses collègues font un constat similaire :

Findings revealed common alternative conceptions held by students across the board, from elementary to university and college, as well as by prospective physics teachers (e.g. Arons, 1997; Cohen, Eylon and Ganielet, 1983; McDermott and Shaffer, 1992a; Shipstone, Rho-neck, Jung, Dupin, Joshua and Licht, 1988). (Afra, Osta et Zoubair, 2009, p. 103)

Les élèves et les enseignants du primaire entretiennent donc des conceptions alternatives en électricité qui ne sont pas justes en regard des concepts scientifiques. Le contact quotidien avec des appareils électriques et le fait que l'électricité ne soit pas « visible » font en sorte que ce champ important de la physique est fertile pour la croissance de conceptions initiales alternatives souvent très différentes des concepts scientifiques à enseigner (Afra et al., 2009).

Ainsi, dans cette recherche, les concepts en électricité ont été retenus comme objets d'étude étant donné que ces éléments de contenu sont difficiles tant pour les enseignants que pour les élèves et qu'ils font partie du *Programme de formation de l'école québécoise* (MEQ, 2001) au troisième cycle du primaire.

1.4.2 Le manque de connaissances didactiques chez les enseignants et leurs approches de l'enseignement des sciences

Comme mentionné précédemment, les enseignants du primaire sont peu confortables avec le contenu scientifique et appliquent peu le programme de *Science et technologie* (MELS, 2006). De plus, tant au Québec qu'ailleurs dans le monde, lorsqu'ils enseignent les sciences, ils emploient souvent des méthodes de type transmissif (Appleton, 2007; Conseil de la science et de la technologie [CST], 2002; Martin, Mullis et Foy, 2008; Martin et al., 2004; Thouin, 2009). Effectivement, « the transmissive orientation predominates teaching behavior and teachers' beliefs » (Duit et al., 2008, p. 638). Ils portent leur attention sur le contenu, aussi ténue puisse être leur aisance avec celui-ci, au détriment de l'attention qu'ils portent aux conceptions des élèves et au rôle qu'elles peuvent jouer lors de l'apprentissage (Duit et al., 2008). Les enseignants n'utilisent pas des interventions qui cadrent avec le constructivisme

ou les recherches sur le CC (Duit et al., 2008). L'approche transmissive met l'accent sur la communication des concepts scientifiques de l'enseignant aux élèves (Duit et al., 2008). Elle donne aux élèves une vision de la science qui est dogmatique et laisse l'impression que la science est un corps de connaissances à mémoriser (Duit et al., 2008).

En pratiquant un enseignement transmissif, les enseignants utilisent des stratégies qui leur permettent de mieux conserver le contrôle de la situation d'enseignement : ces stratégies peuvent être rassurantes pour l'enseignant, mais limitent le plus souvent l'élève à un rôle passif et ne l'« engagent » pas dans ses apprentissages (Appleton, 2007; Minier et Gauthier, 2006). Cela n'incite alors guère ce dernier à poser un regard différent sur les phénomènes naturels. Les enseignants n'étant que peu confortables avec le contenu, ils ne sont donc pas confortables non plus avec un enseignement interactif où des problèmes sont posés et qui prend en compte les conceptions des élèves.

Les enseignants n'ont donc pas des pratiques qui cadrent avec les recherches sur le CC (Duit et Treagust, 2012; Duit et al., 2008). L'observation de la pratique des enseignants en témoigne :

Most teachers are not well informed about key ideas of conceptual change research. Their views of their students' learning usually are not consistent with the state of recent theories of teaching and learning. Indeed, many teachers appear to lack an explicit view of learning. Several teachers hold implicit theories that contain some intuitive constructivist issues; for instance, they want to be learning counselors, and they are aware of the importance of students' cognitive activity and the interpreting nature of students' observations and understanding. However, teachers were identified who characterized themselves as mediators of facts and information and who were not aware of students' interpretational frameworks and the role of students' pre-instructional conceptions. These teachers mostly think that what they consider to be good instruction is a guarantee for successful learning. (Duit et al., 2008, p. 637)

De plus, les enseignants proposent souvent des activités basées sur l'enseignement magistral, comme les démonstrations, la mémorisation de concepts ou la présentation d'information ou d'explications (Appleton, 2007; CST, 2002; Martin et al., 2008; Martin et al., 2004; Thouin, 2009). Ces activités sont associées à une vision transmissive de l'enseignement des sciences (Appleton, 2007; Schwarz, 2009). Du point de vue des élèves, le type d'activité qu'ils sont le plus amenés à réaliser est écrire ou donner une explication au sujet d'un contenu qu'ils étudient en sciences (63 % des élèves disent faire ce type d'activité) (Martin et al., 2008). Selon les enseignants, le type d'activité le plus effectué correspond à celui qui est rapporté par les élèves, avec un pourcentage légèrement inférieur (59 %) (Martin et al., 2008). Le type d'activité *regarder l'enseignant faire une expérience* récolte 16 % selon le point de vue des enseignants, mais 54 % selon les élèves (Martin et al., 2008). Selon les enseignants, seulement 45 %, 28 % et 47 % des élèves sont respectivement amenés à expérimenter, élaborer des protocoles d'expérimentation et travailler en équipe pendant au moins la moitié d'une séance en sciences (Martin et al., 2008), ce qui est bien peu si l'on souhaite favoriser le CC.

Si les enseignants accordent parfois de l'importance à l'expérimentation, leur insécurité sur les plans conceptuel et didactique les poussent à proposer aux élèves une démarche linéaire d'une suite prescrite d'actions ou de techniques à exécuter, sans nécessairement considérer ni stimuler le questionnement des élèves (Gauthier, Gaudreau et Routhier, 2007; Minier et Gauthier, 2006). Ces enseignants peuvent être portés à plutôt laisser les élèves observer et « découvrir » par eux-mêmes les phénomènes lors d'expérimentations précises dirigées étape par étape (Couture, 2010). Également, s'ils effectuent parfois des démonstrations, le visuel l'emporte souvent sur le questionnement et la conceptualisation (Gauthier et Gaudreau, 2010). Cela porte à penser que certains enseignants entretiennent une représentation empiriste des sciences et qu'ils exercent un enseignement qui repose sur l'induction et la découverte. Une telle représentation des sciences mêlée à un inconfort avec les

concepts scientifiques peut occasionner une mauvaise planification des contenus ou l'absence de planification des contenus, ce qui exclut la possibilité de susciter la conceptualisation chez les élèves. Ces derniers ne réalisent pas nécessairement seuls le passage du concret à l'abstrait. Leurs conceptions peuvent créer des interprétations divergentes du concept scientifique visé et ils perçoivent rarement le lien entre l'expérience et le concept (Gauthier et Gaudreau, 2010). Or, la conceptualisation est essentielle à une bonne planification du contenu et à un pilotage adéquat d'une situation d'apprentissage : « Pour bien piloter une expérience scientifique en salle de classe (Fourez, Englebert, Lecompte et Mathy, 1997), il est essentiel que l'enseignant sache modéliser théoriquement ce qu'il veut faire apprendre » (Gauthier et Gaudreau, 2010, p. 92-93). En effet, l'identification précise de l'objet d'apprentissage permet aux enseignants de prévoir les enjeux cognitifs et conceptuels en jeu auprès des élèves. Lorsqu'elles sont effectuées, les activités de manipulation doivent être accompagnées d'activités qui visent le développement conceptuel. D'ailleurs, la compétence *Proposer des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique* sous-entend l'utilisation de concepts scientifiques pour répondre à un questionnement (MEQ, 2001); la conceptualisation est importante et affirmée dans l'expression même de cette compétence (Couture, 2010).

Bref, les approches employées et les activités généralement réalisées en classe en sciences témoignent d'un certain manque de connaissances didactiques quant à l'enseignement des sciences, les enseignants suscitant peu le CC ou la conceptualisation. Il semble y avoir un réel écart entre le foisonnement de recherches portant sur le CC et la pratique d'enseignement des enseignants : « there is a large gap between instructional design based on recent research findings on conceptual change and what is normal practice in most of the classes observed » (Duit et al., 2008, p. 639). En conséquence, on peut douter de la formation à l'égard du CC dont bénéficient les enseignants pour enseigner les sciences.

1.5 La formation des enseignants en sciences

Les difficultés déclarées des enseignants témoignent des lacunes de la formation reçue : « Le peu de cours en sciences et technologie dans la formation initiale des maîtres au primaire et la faible portée de la formation continue peuvent rendre difficile la mise en œuvre du nouveau programme (MELS, 2006) » (Gauthier et Gaudreau, 2010, p. 93). Martin et al. (2004; 2008), Herry (2000) et le Conseil supérieur de l'éducation (2013) soulignent la formation limitée des enseignants du primaire pour enseigner les sciences. En effet, les enseignants du primaire ne possèdent généralement pas de formation postsecondaire en sciences, sauf en ce qui concerne les cours de didactique des sciences et de la technologie (Gauthier et Gaudreau, 2010; Martin et al., 2008; OCDE, 2007). Selon le *TIMSS 2007 Science Report*, seulement 4 % des élèves de 4^e année au Québec ont un enseignant qui a une majeure en sciences (c'est-à-dire un enseignant qui s'est spécialisé en sciences dans ses études postsecondaires). Par exemple, dans le cadre de la formation initiale à l'Université du Québec à Montréal, il n'y a qu'un seul cours de 45 heures en didactique des sciences et de la technologie, en début de baccalauréat. De cet unique cours en didactique des sciences et technologie, il va de soi que peu de temps peut être consacré aux concepts en électricité compte tenu du nombre important de concepts en *Science et technologie* que contient le programme. Cette situation ne se retrouve pas uniquement à l'Université du Québec à Montréal; dans les autres universités québécoises, la formation initiale comprend seulement un ou deux cours de didactique des sciences au primaire.

Malgré le peu de formation en sciences que les enseignants ont reçu dans leur propre cheminement académique, le programme de *Science et technologie* fait partie des programmes pour lesquels les enseignants du primaire ont eu le moins de formation (MELS, 2006). Seuls 10 à 20 % des élèves de la quatrième année du primaire ont un enseignant qui a participé à une formation continue ou à un perfectionnement en sciences durant les deux années précédant l'enquête du *TIMSS 2007* (Martin et al.,

2008). Le manque de formation est une des raisons données par les enseignants pour justifier leur difficulté à intégrer le programme *Science et technologie* dans leur pratique (Couture, 2010). Ils déclarent éprouver des difficultés à organiser des activités d'apprentissage en sciences (MELS, 2006). Ces difficultés pourraient être surmontées par une éventuelle formation en sciences portant sur les pratiques découlant des recherches sur le CC (Duit et Treagust, 2012).

D'ailleurs, la formation des enseignants est le « nerf de la guerre » selon le MELS :

Les programmes pour lesquels les enseignants ont été le moins formés [dont science et technologie] correspondent à ceux qu'ils trouvent plus difficiles à appliquer en général. En corolaire, les principaux besoins de formation disciplinaire exprimés par les titulaires de classe ordinaire concernent les programmes de science et technologie, de géographie, d'histoire et éducation à la citoyenneté, ainsi que ceux d'arts plastiques et d'art dramatique (entre 62 % et 72 %). [...] 78% des enseignants titulaires du primaire de l'enquête du MELS souhaitent de la formation en science et technologie. (MELS, 2006, p. 69-71)

Les lacunes de leur formation initiale et continue peuvent expliquer le souhait de formation continue, l'insécurité et les difficultés des enseignants du primaire quant à l'enseignement des sciences (Gauthier et Gaudreau, 2010). Selon Couture (2010), le problème de la formation à l'enseignement des sciences est large : il doit concerner la maîtrise du contenu scientifique ainsi que les considérations didactiques.

1.5.1 La prise en compte des caractéristiques des enseignants dans un dispositif de formation sur le changement conceptuel

Les enseignants ont un besoin de formation sur le CC, laquelle doit leur être adaptée :

We argue that teachers usually are not well informed about actual views of efficient teaching and learning available in the research community. Most teachers hold views that are limited if seen from the recent inclusive conceptual change perspectives. At best, some isolated features of these perspectives are embedded within predominantly transmissive views. Further, instructional practice is also usually far from a practice that is informed by conceptual change perspectives. Taking into account teachers' deeply rooted

views of what they perceive to be good instruction, it becomes apparent that various closely linked conceptual changes on the teachers' beliefs about teaching and learning are necessary to commence and set recent conceptual change views into practice. (Duit et al., 2008, p. 641)

Ainsi, lors d'une formation, les enseignants doivent avoir la chance de réinterpréter les changements de pratiques pour mieux les reconstruire (Couture, 2010). Cette chance de réinterpréter le changement pour se l'approprier à partir de ses représentations et caractéristiques est impossible lorsque les enseignants participent à une formation pendant laquelle ils n'ont pas l'occasion d'interpréter le changement proposé. C'est pourquoi les approches technocratiques implantées comme des solutions tout prêtes, qu'on qualifie souvent de top-down, ne fonctionnent pas (Bednarz et Barry, 2010; Couture, 2010; Savoie-Zajc, 1993). Selon Ebert et Crippen (2010), le succès d'une formation repose plutôt sur la prise en compte des enseignants et de leurs attitudes lorsqu'on souhaite les former pour les aider à réformer leur pratique. La solution à la résistance au changement et à l'innovation pédagogique réside donc dans la prise en considération des enseignants et de leurs caractéristiques (Sylla et De Vos, 2010).

Un autre angle pour prendre en considération les enseignants est le côté pratique puisque les enseignants motivés souhaiteront mettre en pratique ce qu'ils acquerront lors d'une formation. Ainsi le volet théorique, qui donne du sens aux pratiques, ne doit pas occuper trop d'espace dans la formation. En effet, une formation trop théorique dilue la compréhension des sujets et rend difficile le lien qu'ils peuvent faire avec leur pratique (Schwarz, 2009). La théorie doit prendre son sens dans la pratique, y être imbriquée : « l'intégration théorie-pratique ainsi opérée dans une approche émergente, plutôt que dans une logique d'implantation, vise une meilleure appropriation, par les enseignants, de considérations didactiques qui s'intègrent à leur raisonnement pédagogique (Durand, 1996) » (Couture, 2010, p. 149). Certains auteurs vont même jusqu'à qualifier de CC chez les enseignants cette reconstruction et ce souci de prendre en considération les représentations des enseignants dans le but de les amener à changer leur pratique (Duit et al., 2008; Ebert et Crippen, 2010).

Selon Ebert et Crippen : « research on conceptual change can aid the design and implementation of enduring professional development » (Ebert et Crippen, 2010, p. 374). Le CC est ainsi tant un cadre théorique pour l'apprentissage des élèves que pour celui des enseignants : « Hence, conceptual change may still be a powerful frame for improving science teaching and learning » (Duit et Treagust, 2003, p. 683).

1.5.2 Un dispositif de formation sur le changement conceptuel en cohérence avec celui-ci

Les recherches qui portent sur le CC sont riches et porteuses pour l'enseignement des sciences, mais comme bien d'autres recherches en éducation, elles sont peu accessibles aux enseignants (Broekkamp et van Hout-Wolters, 2007; Duit et al., 2008). Le champ théorique du CC est devenu de plus en plus sophistiqué et les stratégies d'enseignement et d'apprentissage développées, de plus en plus complexes (Duit et Treagust, 2012). Or, les enseignants en classe doivent se familiariser avec des pratiques d'enseignement basées sur ces théories qui peuvent être intégrées à leur enseignement en classe (Duit et al., 2008).

Duit et Treagust (2003) recommandent en ce sens qu'un pont relie les recherches sur le CC et la pratique d'enseignement pour que les enseignants puissent intégrer dans leur pratique habituelle en classe les retombées pratiques des recherches sur le CC. En d'autres termes, Duit et Treagust (2003) soulignent l'importance de planifier la recherche en considérant la culture de la pratique enseignante lorsqu'on souhaite palier les besoins et difficultés des enseignants. Il paraît légitime de vouloir rendre accessibles aux enseignants les pratiques qui découlent du CC. Une médiation à envisager pour diffuser des résultats de recherche d'une façon qui soit adaptée aux enseignants est la formation continue (Astolfi et al., 1997a).

Un dispositif de formation doit idéalement porter à la fois sur un contenu et sur l'enseignement de ce contenu : « in the science curriculum, the change has to include the subjects taught and also the way they are taught » (Trumper, 2005, p. 879). Les

enseignants gagneraient donc à être formés par rapport à l'électricité (un contenu) et à la façon de favoriser le CC chez les élèves (l'enseignement de ce contenu) en électricité. En effet, comme l'apprentissage des sciences est difficile pour les élèves et comme l'enseignement de cette matière scolaire l'est aussi, former les enseignants au sujet du CC répond à un problème de la pratique (Shwartz, 2009).

Une prise en compte à la fois des caractéristiques des enseignants, de leur réalité et des recherches existantes sur le CC et sur la formation des enseignants permet de concevoir une formation sur mesure qu'il importe de mettre à l'essai pour évaluer si les incidences prévues (notamment l'utilisation de pratiques d'enseignement favorisant le CC et la compréhension de concepts en électricité) surviennent. Cette mise à l'essai est essentielle puisqu'« il n'y a pas de formation « en soi », mais seulement au regard d'hypothèses formatives qu'il est important d'explicitier » (Astolfi et al., 1997a, p. 8). Ces hypothèses des apprentissages visés chez les enseignants sont formulées à la fin du cadre théorique et un dispositif de formation est développé afin d'établir un pont entre la recherche sur le CC et les enseignants.

1.6 Conclusion du chapitre et question générale de recherche

Cette problématique vient d'exposer l'écart qui existe entre les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC chez les élèves et celles que les enseignants emploient. Les enseignants ressentent d'ailleurs un inconfort par rapport aux connaissances scientifiques, dont celles en électricité, ainsi que par rapport à l'enseignement des sciences.

Compte tenu des nombreuses recherches sur le CC, du fait que des implications pour la pratique d'enseignement découlent de ces recherches et du fait que les enseignants du primaire ont besoin d'améliorer leur enseignement des sciences, il est par conséquent pertinent de développer un dispositif de formation sur le CC qui prend en compte tous ces éléments. La question générale de recherche se formule donc comme suit :

Compte tenu

- de la compréhension contemporaine du changement conceptuel;
- de ses implications pratiques;
- des conceptions fréquentes en électricité;
- du contexte de l'enseignement des sciences au primaire;
- des caractéristiques des enseignants;

Quel dispositif de formation portant sur le changement conceptuel en électricité peut être développé pour les enseignants du primaire?

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

Ce chapitre discute des fondements et théories à considérer pour la conception du dispositif de formation sur le CC en électricité destiné à des enseignants du primaire. La notion de formation continue des enseignants sera abordée, ainsi que ses composantes essentielles. Le CC, les pratiques qui en découlent, les conceptions fréquentes en électricité et les pratiques d'enseignement qui favorisent l'apprentissage en électricité seront également présentés. Ces concepts centraux sont abordés puisqu'ils ont guidé la planification de la formation ainsi que l'analyse.

2.1 La formation continue efficace

Une formation continue des enseignants se définit comme un :

ensemble des actions et des activités dans lesquelles les enseignantes et les enseignants en exercice s'engagent en vue de mettre à jour, d'enrichir leurs compétences professionnelles et d'améliorer leurs pratiques individuelles ou collectives au regard des conditions d'apprentissage en milieu d'éducation. (Legendre, 2005, p. 688)

Dans le cas de la présente étude, les actions et les activités proposées aux enseignants visent l'appropriation de connaissances scientifiques à propos de concepts en électricité, lesquels sont considérés comme un préalable pour ensuite se familiariser avec des pratiques qui favorisent le CC des élèves par rapport à ces mêmes concepts. En effet, le premier facteur prédictif de la réussite scolaire est la présence de savoirs

et d'habiletés préalables (Bégin, 1978), alors il sera essentiel de d'abord familiariser les enseignants avec le contenu, puis avec la didactique de ce contenu.

Lors de la planification d'une formation continue, il importe de cibler les orientations du dispositif de formation qui sera élaboré afin de circonscrire un champ de formation de même qu'un champ de collecte de données pour évaluer les apprentissages que feront éventuellement les enseignants. Les orientations sont définies par rapport au contenu de la formation. Selon un état de la question sur le progrès du rendement des élèves dû au développement professionnel des enseignants lors d'une formation continue réalisée par Joyce et Showers (2002), le contenu peut être de quatre ordres :

- Connaissance des théories, des pratiques, du curriculum;
- Changement d'attitude par rapport à soi, aux élèves, au contenu académique;
- Développement d'habiletés, de comportements, de stratégies;
- Transfert de la formation en classe, utilisation consistante et appropriée du matériel ou du contenu de la formation.

Ces quatre types de contenu ne sont pas mutuellement exclusifs, mais cibler un but en particulier permet d'orienter la planification d'une formation ainsi qu'offrir une cible claire aux participants. Compte tenu de la problématique exposée et des lacunes des enseignants quant aux connaissances scientifiques en électricité et didactiques par rapport au CC, le contenu prédominant sera inscrit dans l'ordre *connaissance des théories, des pratiques et du curriculum* (Joyce et Showers, 2002). En effet, les enseignants ont besoin de se familiariser avec les notions en électricité, les conceptions initiales fréquentes en électricité et les pratiques favorisant le CC. De plus, comme des pratiques favorisant le CC sont l'objet de la formation et que les enseignants mettant à l'essai avec leurs élèves ce qu'ils apprennent pendant la formation, les ordres *développement d'habiletés, de comportements et de stratégies* et *transfert de la formation en classe* sont également visés. Enfin, cet ajout de connaissances théoriques et pratiques vise également un meilleur niveau de confiance

quant au contenu en électricité, donc l'ordre *changement d'attitude par rapport à soi, aux élèves et au contenu académique* est également ciblé.

En plus de proposer quatre catégories de contenu, Joyce et Showers (2002) ont identifié quatre composantes essentielles au succès d'une formation. Ces composantes essentielles sont les suivantes :

- Fournir des explications sur la théorie qui sous-tend le contenu de la formation;
- Faire la démonstration ou modeler les habiletés visées;
- Pratiquer les habiletés qui font l'objet de la formation;
- Favoriser un encadrement et une rétroaction par les pairs.

Ces composantes peuvent être comparées aux paramètres proposés par Blank et de las Alas (2010) dans une méta-analyse portant sur les effets positifs du développement professionnel des enseignants sur le rendement des élèves. Ils proposent cinq paramètres à considérer pour une formation de qualité (Blank et de las Alas, 2010) :

- Le contenu visé;
- L'apprentissage actif;
- La cohérence;
- La durée et la fréquence;
- La collaboration et la participation.

Cet état de la question par Joyce et Showers (2002) et cette méta-analyse par Blank et de las Alas (2010) ont tous deux examiné des recherches qui proposent une formation qui vise une retombée positive chez les élèves, ce qui s'accorde avec l'objet de la présente recherche. En effet, en formant les enseignants à propos du CC en électricité, une retombée souhaitée se traduit par un CC en électricité chez les élèves qui découlerait des pratiques nouvellement acquises par les enseignants. Les deux études présentées précédemment sont complémentaires lorsqu'on compare les composantes et paramètres pour caractériser une bonne formation (voir le tableau 2.1).

Tableau 2.1
Complémentarité des composantes et paramètres d'une formation

Joyce et Showers (2002)	Blank et de las Alas (2010)
Fournir des explications sur la théorie qui sous-tend le contenu de la formation;	Le contenu visé;
Pratiquer les habiletés qui font l'objet de la formation;	L'apprentissage actif;
Favoriser un encadrement et une rétroaction par les pairs;	La collaboration et la participation;
Faire la démonstration ou modeler les habiletés visées.	La cohérence;
---	La durée et la fréquence.

Cette complémentarité des composantes et des paramètres permet d'en produire une synthèse. Ainsi, en s'appuyant sur ces études, lors d'une formation, il importe :

- 1) D'aborder un contenu, en précisant la théorie qui le sous-tend;
- 2) De permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation;
- 3) De favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs;
- 4) D'être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc de faire des démonstrations et de modeler les habiletés visées (le formateur doit ainsi agir comme il enseigne de le faire; il est donc cohérent entre le message qu'il porte et les pratiques qu'il prône en employant et modelant lui-même ces pratiques au cours de la formation auprès des enseignants);
- 5) De prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé.

Ces cinq éléments essentiels d'une formation engendrant des retombées positives ont été pris en compte lors du développement de la formation de la présente recherche. Les paragraphes qui suivent illustrent comment ces éléments se sont concrétisés dans l'élaboration initiale de la formation.

Dans la version initiale de la formation, pour les contenus (1), les enseignants se familiarisent avec les concepts en électricité, puis avec les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC chez les élèves. Les enseignants doivent comprendre les contenus en électricité, en sachant lesquels sont centraux, ainsi que les liens logiques qui les relient entre eux (Schulman, 1986). La théorie du CC est vulgarisée et explicitée aux enseignants. Ce cadre théorique permet d'organiser dans un tout cohérent les pratiques d'enseignement qui font l'objet de la formation (Schulman, 1986).

Les enseignants sont actifs dans leurs apprentissages (2) puisqu'ils sont appelés à vivre des activités en jouant le rôle de l'élève. Par exemple, ils résolvent des problèmes et manipulent des circuits. Ils sont ensuite amenés à réfléchir sur les processus d'apprentissage vécus. De cette façon, lors de la formation, les enseignants vivent avant leurs élèves les difficultés mêmes que rencontreront ces derniers. L'étude de l'électricité est donc un contexte qui permet aux enseignants de s'inspirer de leur propre appropriation (en comprenant leurs conceptions et obstacles) pour soutenir l'apprentissage éventuel de leurs élèves. Cette idée rappelle l'homomorphisme, qui incite à proposer aux enseignants des situations formatives qui s'apparentent aux situations didactiques qu'ils sont amenés à proposer à leurs élèves (Astolfi, et al., 1997a). Cet homomorphisme permet habituellement une meilleure adhésion de la part des enseignants aux idées présentées.

De plus, les enseignants ont l'occasion de s'exercer en réalisant et en échangeant entre pairs à propos des activités portant sur des concepts en électricité vécues pendant la formation. Par ce type d'activités, la collaboration et la rétroaction par les pairs sont encouragées (3), les enseignants étant parfois plus confortables de recevoir une rétroaction de la part de collègues plutôt que d'un formateur, qui peut représenter une certaine autorité (Joyce et Showers, 2002).

Comme il importe de modeler les habiletés visées pour illustrer la cohérence entre le message et les moyens employés (4), les enseignants sont invités à opérer un CC par rapport à leurs propres conceptions en électricité. Ils réalisent des activités qui en plus de susciter le CC en électricité, permettent également de confronter leur expérience et leur représentation de l'enseignement des sciences. Leur modèle personnel implicite de l'enseignement des sciences peut alors être ébranlé et remis en question. Dans la présente recherche, compte tenu de la problématique, les caractéristiques des enseignants qui peuvent influencer leurs représentations et leurs convictions sont prises en considération :

- Ils n'ont généralement pas de formation postsecondaire en sciences (Gauthier et Gaudreau, 2010; Martin et al., 2008; OCDE, 2007);
- Ils sont peu confortables avec les concepts en électricité et avec l'enseignement des sciences en général et ne se sentent pas préparés à enseigner les sciences (Martin et al., 2004);
- Ils enseignent peu les sciences (Lenoir et al., 2000; MELS, 2006);
- Ils emploient des pratiques associées aux approches transmissives ou par la découverte lors de l'enseignement des sciences (Appleton, 2007; Martin et al., 2008; Minier et Gauthier, 2006).

La prise en compte de ces caractéristiques et de ces façons de voir l'enseignement des enseignants a pour but de favoriser un engagement de ces derniers. Une formation développée sur mesure pour eux est susceptible de les engager davantage. En effet, « un apprentissage et une formation engagent les représentations et les convictions de celui à qui ils sont destinés » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997b, p. 11). L'engagement des enseignants dans la formation par le modelage a aussi un effet sur la pratique. En effet, à la suite de la formation, les enseignants vont habituellement faire vivre à leurs élèves des activités presque telles qu'ils les ont vécues en formation (Summers et al., 1998). Il ne s'agit donc pas de seulement

communiquer aux enseignants des techniques dans le but de changer leur pratique, mais d'aussi les amener à voir autrement l'enseignement des sciences. En effet, les représentations que les enseignants entretiennent quant à l'enseignement des sciences peuvent être un obstacle ou un moteur à l'apprentissage (Ebert et Crippen, 2010; Gauthier et Gaudreau, 2010; Sylla et De Vos, 2010). Ces représentations sont considérées « comme des instruments cognitifs d'appréhension de la réalité et de l'orientation des comportements; les représentations des enseignants peuvent être considérées comme un des moyens à partir desquels ils structurent leurs comportements (Charlier, 1998) » (Sylla et De Vos, 2010, p. 281-282). Ainsi, il importe de les prendre en compte lors d'une formation; une représentation de l'enseignement des sciences incompatible avec celle qui est véhiculée par une formation peut en effet rendre complètement irréalisable toute possibilité d'apprentissage ou de développement professionnel chez l'enseignant (Ebert et Crippen, 2010).

Finalement, la durée et la fréquence (5) des rencontres sont des éléments à planifier, mais aucune norme ne semble imposée dans la littérature. D'après les études recensées dans la méta-analyse de Blank et de las Alas (2010), la durée et la fréquence des rencontres de formation sont très variables. Dans les études qui ont fait l'objet de leur analyse, le nombre d'heures varie de 2 à 540, et la durée varie de 1 jour à 16 mois. L'essentiel est de prévoir le nombre de rencontres nécessaire pour atteindre les objectifs visés par la formation.

Les cinq éléments essentiels décrits dans les paragraphes précédents devront être réunis pour développer la formation portant sur le CC en électricité. Ces concepts seront discutés dans les sections suivantes.

2.2 Le changement conceptuel

Le CC peut être abordé sous différentes facettes. Dans les sections suivantes, il sera situé par rapport au constructivisme, à l'apprentissage en didactique et défini comme

un difficile apprentissage scolaire en sciences. Les principaux modèles de CC seront synthétiquement présentés ainsi que les indications pratiques qui en découlent.

2.2.1 Le changement conceptuel et le constructivisme

Comme mentionné dans la problématique, le CC s'inscrit dans l'épistémologie constructiviste de l'apprentissage (Legendre, 2002). Ce paradigme est souvent considéré comme faisant l'« unanimité » pour expliquer l'apprentissage et l'enseignement des sciences dans les recherches contemporaines (Duit et Treagust, 2003).

Plus précisément, comme le CC est plus souvent associé au processus d'apprentissage qui se produit en sciences, il peut même être plus spécifiquement associé au constructivisme didactique. Ce mouvement a comme origine les travaux de Piaget et de Bachelard (Thouin, 2004) et vise l'apprentissage de concepts, du langage scientifique et des stratégies de résolution de problèmes.

Les aspects majeurs du constructivisme didactique peuvent se décliner comme suit (Astolfi et al., 1997a) :

- La conception du constructivisme sur le plan didactique s'oppose à la transmission-réception centrée sur l'objet;
- Le constructivisme didactique s'oppose aussi à une pédagogie uniquement centrée sur l'enfant;
- L'élève construit son savoir à partir d'une investigation du réel;
- Le savoir considéré est constitué sous différentes formes (magistrale, médiatisée, documentaire,...);
- Le constructivisme didactique s'appuie sur des constructions très individualisées, mais aussi collectives, en situation de classe où peuvent survenir des conflits cognitifs;

- L'appropriation du savoir est non linéaire par différenciations, généralisations, ruptures, etc.

Le constructivisme didactique peut également comprendre le socioconstructivisme puisque la composante collective n'en est pas exclue. Cette composante collective n'est toutefois pas un enjeu principal du constructivisme didactique, qui garde l'accent sur l'évolution des conceptions qui peut se produire chez chacun des élèves.

Ainsi, pour favoriser le CC, il est attendu que l'élève joue un rôle actif et soit au centre de ses apprentissages.

2.2.2 Le changement conceptuel, un concept en didactique

Le CC, lorsqu'on le considère du point de vue de l'élève, se situe dans la relation élève-savoir du triangle didactique (Thouin, 2009).

Il représente une facette de l'apprentissage des sciences et la didactique concerne notamment les recherches sur les conditions d'appropriation des savoirs (Astolfi et al., 1997a). Il importe donc de considérer la représentation de l'apprentissage en didactique. Pour Reuter et ses collègues, les didactiques des disciplines circonscrivent leur vision de l'apprentissage comme suit :

- elles mettent au centre de leur champ d'investigation l'apprentissage qui implique une *situation intentionnelle* d'enseignement, contrairement à l'apprentissage par l'enfant de la langue ou de la marche;
- elles s'intéressent principalement aux apprentissages de contenus *spécifiés disciplinairement* : l'apprentissage, même scolaire, de ce qui n'est pas référentiel à une discipline ne relève pas à proprement parler d'une didactique. (2007, p. 17)

Étant donné ces deux contraintes, l'apprentissage est inséparable d'une programmation didactique; est déterminé selon l'âge et la logique disciplinaire; est *a priori* imposé à l'élève; est organisé dans un système didactique où il y a des contraintes de lieu, de place et de temps; est formel et en grande partie explicite; et

finalement est évalué (Reuter et al., 2007). Ces caractéristiques d'un apprentissage scolaire incitent à cibler le CC dit « instruction-based » (Inagaki et Hatano, 2008, p. 242) (apprentissage scolaire), c'est-à-dire stimulé et favorisé par l'enseignement. Dans la présente recherche, le CC est donc un concept qui se situe en didactique et qui est considéré comme un apprentissage scolaire.

2.2.3 Le changement conceptuel, un difficile processus d'apprentissage scolaire

Le CC est un difficile processus d'apprentissage (Vosniadou, 2008a). Il n'y est pas question des processus d'acquisition, qui constituent un autre volet de l'apprentissage, mais des processus de changement, comme l'indique Legendre dans sa définition de l'apprentissage :

processus d'acquisition ou de changement, dynamique et interne à une personne, laquelle, mue par le désir et la volonté de développement, construit de nouvelles représentations explicatives cohérentes et durables de son réel à partir de la perception de matériaux, de stimulations de son environnement, de l'interaction entre les données internes et externes au sujet d'une prise de conscience personnelle. (2005, p. 88)

Il y a consensus quant à la considération du CC comme un processus d'apprentissage des sciences plus difficile et plus radical que les autres (Vosniadou, 2008a). Plusieurs chercheurs qui travaillent sur le CC en sciences emploient la précédente dichotomie (acquisition-changement) pour mieux définir le CC et le distinguer d'autres processus d'apprentissage :

- diSessa et Sherin distinguent l'apprentissage qui nécessite un profond changement de l'apprentissage plus habituel comme la mémorisation ou l'accrétion graduelle de connaissances : « “conceptual change”, which represents deep, more difficult to accomplish learning, in opposition to more mundane sorts of learning » (1998, p. 1156);
- Vosniadou associe le - CC à une révision plutôt qu'à un enrichissement : « revision is required when the information to be acquired is

inconsistent with existing beliefs or presuppositions, or with the relational structure of a theory » (1994, p. 49);

- Carey parle de restructuration forte plutôt que faible : « stronger sense includes [...] changes in the individual core concepts of the successive systems » (1986, p. 1127);
- Posner et ses collègues opposent quant à eux l'accommodation à l'assimilation lorsqu'ils discutent du CC radical :

Sometimes students use existing concepts to deal with new phenomena. This variant of the first phase of conceptual change we call assimilation. Often, however, the student's current concepts are inadequate to allow him to grasp some new phenomenon successfully. Then the student must replace or reorganize his central concepts. This more radical form of conceptual change we call accommodation. (1982, p. 213)

Ce difficile processus d'apprentissage qu'est le CC concerne le passage d'explications moins scientifiques à des explications plus scientifiques en sciences. Selon Vosniadou, la définition suivante du CC reflète un consensus :

Today, most researchers would agree that research on conceptual change investigates how concepts change with learning and development in specific subject-matter areas or domains of knowledge, focusing more specifically on explaining students' difficulties in learning the more advanced and counter-intuitive concepts in these areas. (2008a, p. XV)

Cette définition reprend certains éléments qui ont été discutés précédemment, notamment le fait que le CC concerne un apprentissage de concepts scientifiques. Elle inclut cependant le CC dû au développement (à la maturation), ce qui ne sera pas considéré puisque la position pour un CC en didactique concerne l'apprentissage dû à une situation intentionnelle d'enseignement (et non à la maturation). La définition de Duit est plus précise à cet égard. Elle est certes plus concise, mais situe clairement le CC comme un apprentissage scolaire : « conceptual change denotes learning pathways from students' pre-instructional conceptions to the science concepts to be learned » (Duit, 1999, cité par Duit et Treagust, 2003, p. 673). Cette définition inclut

l'aspect de l'apprentissage difficile qui demande parfois certains détours avec l'emploi du terme *pathways*. Cette définition inclut également l'apprentissage scolaire ainsi que l'aspect disciplinaire du CC, mais l'emploi du terme conception est toutefois trop pointu; à propos de la notion de conception, la définition de Vosniadou est plus inclusive. En effet, ce qui *change* dans le CC ainsi que le processus de changement en tant que tel varient selon les auteurs, ce qui sera abordé sous peu.

Les éléments à retenir des définitions au sens large sont que le CC concerne l'apprentissage scolaire difficile de concepts scientifiques qui sont contre-intuitifs par rapport à ce que pense l'élève au départ.

2.2.4 Des modèles de changement conceptuel

Pour comprendre, expliquer, décrire, prédire, explorer ou prescrire le CC, des auteurs (Bélanger, 2008; Carey, 1985; diSessa, 1993; Giordan, 1989; Posner et al., 1982; Vosniadou, 1994) ont développé des modèles de CC.

Les principaux modèles de CC seront présentés dans les sections qui suivent. L'analyse de ces modèles ayant été effectuée en profondeur dans le projet de recherche réalisé à la maîtrise (Bêty, 2009), tout ne sera pas répété dans la présente thèse.

Le modèle de Posner et ses collègues est connu comme l'approche classique du CC (Vosniadou, 2008a) et a eu un impact majeur sur le programme de recherche portant sur le CC en didactique des sciences (Bélanger, 2008). Ce modèle sera présenté en premier. Les modèles de CC de Vosniadou (1994) et de diSessa (1993) seront présentés ensuite. Ils ont été choisis puisqu'ils sont encore très actuels; ils font l'objet de discussions, d'études, de recherches et ils sont régulièrement utilisés comme références tant pour des recherches théoriques qu'empiriques (Bélanger, 2008; Masson, 2005; Potvin, 2002). Ces deux modèles détaillent finement les entités du CC et ont une rivalité assumée (Bélanger, 2008). Enfin, le modèle allostérique de Giordan

(1989) sera abordé. Ce modèle doit sa pertinence aux indications claires de plusieurs pratiques pour l'enseignant.

2.2.4.1 Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982)

Pour Posner et ses collègues, les conceptions initiales sont erronées et sont placées en réseau; toutes les conceptions de concepts apparentées sont interreliées et ont une influence les unes sur les autres. Selon ces auteurs, le CC est une accommodation, une activité rationnelle et un processus d'appropriation progressive qui peut demander du temps.

La grande contribution de ce modèle est la proposition de quatre conditions à mettre en place pour susciter le CC : provoquer l'*insatisfaction* par rapport aux conceptions initiales erronées et présenter les concepts scientifiques de façon à ce qu'ils soient *intelligibles, plausibles et féconds*. Ces conditions ainsi que l'écologie conceptuelle et les moyens à utiliser pour les opérationnaliser se trouvent dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2.
Les conditions qui favorisent le CC selon Posner et ses collègues (1982) ainsi que l'écologie conceptuelle qui permet d'opérationnaliser ces conditions

Conditions	Écologie conceptuelle
Insatisfaction par rapport à la conception initiale	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre l'élève en contact avec des anomalies; - Provoquer un conflit cognitif.
Intelligibilité de la conception scientifique	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un vocabulaire juste; - Employer différents modes d'expression; - Proposer des analogies.
Plausibilité de la conception scientifique	<ul style="list-style-type: none"> - Établir des liens avec d'autres connaissances; - Donner du sens aux connaissances.
Fécondité de la conception scientifique	<ul style="list-style-type: none"> - Employer la nouvelle conception.

Pour Posner et ses collègues (1982), le CC est une activité rationnelle; l'élève doit ainsi être conscient des limites de sa conception initiale et en être insatisfait afin de la changer pour une conception scientifique. Ce modèle fut fort critiqué (Vosniadou,

Vamvakoussi et Skopeliti, 2008; Potvin, 2002) pour cette orientation très rationnelle selon laquelle l'activité d'apprentissage des élèves est similaire à celle des scientifiques (Bélanger, 2008; Masson, 2005). Strike et Posner (1992) ont par la suite reconnu que l'insistance avec laquelle ils ont recommandé de confronter les élèves avec des anomalies n'en valait pas tant la peine étant donné la faible conscience qu'ont les élèves de leurs conceptions. Dans leur article de 1992, Strike et Posner ont proposé des avenues de recherche :

It is very likely wrong to assume that misconception are always there in developed or articulated form during science instruction. [...] misconceptions have developmental histories. They are generated by something else in the conceptual ecology. It may be more important for instruction to understand what it is that produces them than it is to understand the character of the misconception itself. (Strike et Posner, 1992, p. 158)

En ce sens, une recherche prospective qu'ils proposent est l'étude des éléments qui supportent ou génèrent les conceptions. Les auteurs Vosniadou (1994) et diSessa (1993) ont développé leur modèle en détail par rapport aux structures qui supportent ou génèrent les *conceptions*.

2.2.4.2 Le modèle de Vosniadou (1994)

Stella Vosniadou (1994) a développé un modèle qui approfondi les structures qui occasionnent les conceptions. Elle met l'accent sur le contraste et le fossé qui existent entre une *conception* et un *concept scientifique*, ce qui fait référence à l'incommensurabilité, un concept qu'elle emprunte à Kuhn (1972). Pour elle, les conceptions, qu'elle nomme *modèles mentaux*, résultent de théories naïves de la physique et du champ conceptuel en question (voir la figure 2.1).

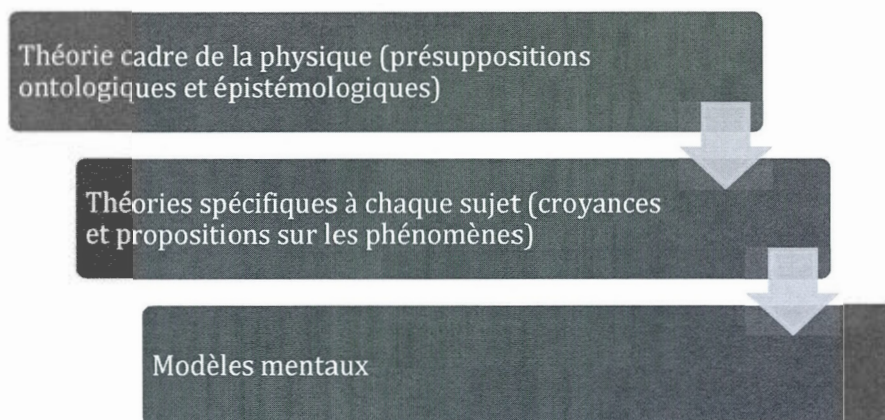


Figure 2.1
Les modèles mentaux résultent des théories naïves selon le modèle de Vosniadou (1994)

La chercheuse développe ses prémisses à partir de l'hypothèse que les enfants ont des théories naïves en tête : la théorie cadre et les théories spécifiques. Selon elle, la théorie cadre en physique est à la base de l'épistémologie et de l'ontologie d'un individu et est construite tôt dans l'enfance. Cette théorie générale contraint le processus d'apprentissage un peu comme le paradigme de la science normale contraint le développement de certaines théories scientifiques selon Kuhn (Vosniadou, 1994). Des présuppositions épistémologiques et ontologiques de la théorie cadre découle la façon dont une personne interprète le fonctionnement du monde et les nouvelles informations qu'elle en reçoit. Puis, à partir des présuppositions et de ses croyances, la personne construit des théories spécifiques à propos des phénomènes du monde physique (Vosniadou, 1994, p. 45). Les théories spécifiques servent à décrire la structure interne d'un domaine conceptuel et sont spécifiques à un phénomène. Elles sont composées d'un ensemble de propositions et de croyances à propos des propriétés et des fonctionnements d'objets physiques particuliers et sont continuellement enrichies et modifiées.

Pour Vosniadou, le CC correspond à une révision des présuppositions et des croyances des théories naïves. Un changement au niveau des théories naïves

entraînera un changement au niveau des modèles mentaux. Les résultats de ses recherches empiriques convergent vers seulement quelques modèles mentaux, déclinés en quelques niveaux, pour chaque phénomène scientifique étudié, notamment le concept de la Terre (Vosniadou et Brewer, 1992). Les modèles mentaux ont différents niveaux selon le progrès de l'apprentissage.

Le modèle mental qui est simplement basé sur l'expérience de tous les jours et sur des présuppositions épistémologiques et ontologiques de base est appelé *modèle initial* (Vosniadou, 1994). Une fois que l'élève est en contact avec un modèle scientifique culturellement accepté, il développe normalement un *modèle synthétique*. Un modèle synthétique combine des aspects du modèle initial avec des aspects du modèle scientifique culturellement accepté par la communauté scientifique. Les recherches de Vosniadou sur les modèles mentaux de la Terre illustrent les différentes conceptions qu'un enfant peut avoir de la planète (voir la figure 2.2). Ce sont les assimilations sans révision des théories naïves qui occasionnent les modèles mentaux synthétiques. Selon elle, comme les modèles mentaux initiaux ou synthétiques présents chez l'élève peuvent le satisfaire, ils peuvent aussi l'empêcher de passer au modèle scientifique. Il faut ainsi être attentifs aux modèles mentaux des élèves.

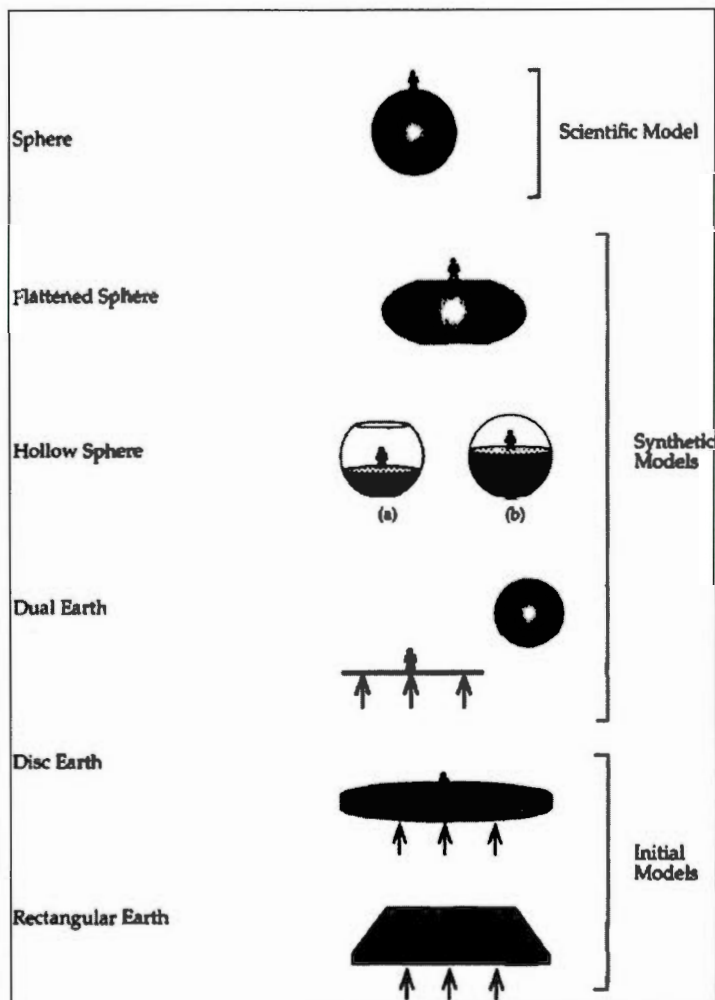


Figure 2.2
Différents modèles mentaux de la Terre
 (Vosniadou, 1994, p. 53)

Le modèle de CC de Vosniadou détaille donc précisément et finement les structures cognitives fines d'où proviennent les conceptions (Bélanger, 2008). diSessa, qui lui aussi s'est attardé aux structures derrière les conceptions, reproche toutefois à ce modèle de malgré tout mettre l'accent sur l'étiquetage des conceptions et de simplifier la complexité de l'apprentissage et du CC (diSessa, 2008).

2.2.4.3 Le modèle de diSessa (1993)

Andrea A. diSessa se situe dans un autre paradigme du CC, celui de la continuité et non celui de la rupture. En effet, il ne cherche pas à déconstruire les conceptions. En 1988, il a publié le chapitre *Knowledge in pieces*, dans lequel il déclare : « Intuitive physics is a fragmented collection of ideas, loosely connected and reinforcing, having none of the commitment or systematicity that one attributes to theories » (1988, p. 50). Cette façon de représenter une organisation des connaissances en pièces détachées est à l'opposé de celle proposée par Vosniadou, qui stipule plutôt que les connaissances sont structurées en théories naïves. diSessa (1988) propose plutôt de tirer un bénéfice des *pièces*, des fragments de connaissances que les élèves ont en tête, pour développer la compréhension des sciences : « *Building a new and deeper systematicity* is a superior heuristic to the "confrontation" approach many theorists have taken » (1988, p. 51). Cette idée de la construction d'une systématique ainsi que l'idée du savoir en pièces ont été développées dans de nombreux textes de diSessa, dont *Toward an Epistemology of Physics*, son article phare publié en 1993.

Pour diSessa, le sens de la mécanique naïf est riche, divers, délicat, inarticulé et non systématique (diSessa, 1993), ce qui va dans le sens du savoir en pièces détachées et qui donne une visée à tout son modèle de CC. Le sens de la mécanique naïf a peu de profondeur, est morcelé et peu compact; il faut le coordonner. Un sens de la mécanique compact qui réussit à tenir compte de la diversité de phénomènes physiques est coordonné (diSessa, 1993), c'est-à-dire que les pièces de savoir sont agencées, structurées et coordonnées pour tendre vers un sens de la mécanique expert. La voie que ce modèle de CC explore est l'établissement d'une continuité entre les explications disparates d'évènements et les lois fondamentales.

Les conceptions sont ainsi des résultats des pièces de savoir qu'il nomme *p-prims*, les primitives phénoménologiques. Ces *p-prims* correspondent à des relations causales intuitives et à des stratégies de lecture des phénomènes. Le CC correspond donc à la

systematisation et la réorganisation des p-prims dans une continuité étant donné que les p-prims sont déjà existantes. Selon lui, il n'y a donc pas de rupture entre le sens de la mécanique naïf et le sens de la mécanique expert; il s'agit de coordonner, de réorganiser et de prioriser des p-prims. Lorsque les p-prims sont coordonnées et priorisées, on peut alors parler de *classes de coordination* (voir figure 2.3), qui correspondent en fait aux concepts scientifiques (diSessa et Sherin, 1998).

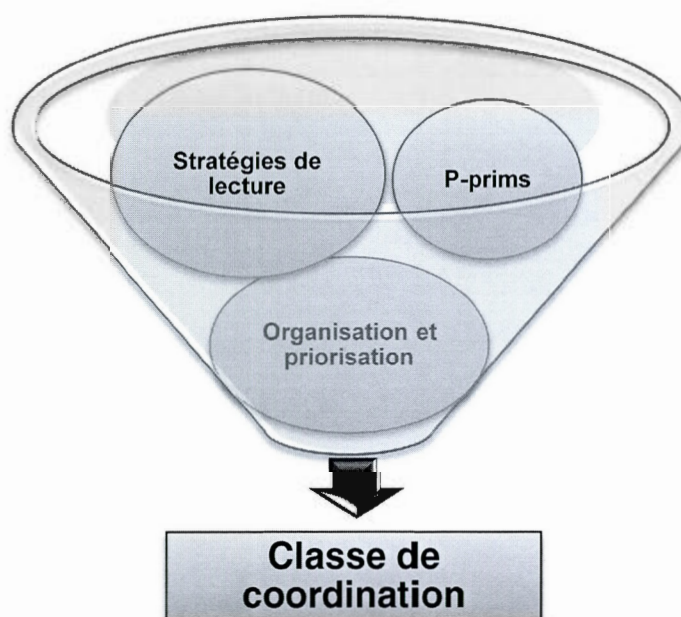


Figure 2.3
Les éléments systématisés dans une classe de coordination
 (diSessa et Sherin, 1998)

diSessa décrit si finement les structures des conceptions tout comme le processus du CC, qu'on peut même reprocher à ce modèle de gêner la compréhension du CC. En effet, ce modèle en devient lourd et difficile à comprendre; le lien entre sa structure et son opérationnalisation éventuelle dans la réalité est complexe.

2.2.4.4 Le modèle de Giordan (1989)

Giordan qualifie quant à lui son modèle d'*allostérique* (1989), en analogie avec les protéines allostériques qui changent de forme selon leur environnement. En effet, selon Giordan, l'environnement didactique joue un rôle majeur pour favoriser le CC : « le modèle allostérique permet de prévoir les situations, les outils et les ressources qui facilitent l'apprendre » (2002, p. 23). En plus de donner beaucoup de paramètres pratiques à son modèle, Giordan l'a détaillé d'un point de vue cognitif comme processus d'apprentissage.

Pour Giordan, les conceptions sont à la fois des obstacles et des cadres explicatifs; elles sont à la fois concrètes et abstraites. Elles sont des obstacles, car elles sont erronées et qu'elles résistent au changement (Eastes et Pellaud, 2004). Elles résistent au changement entre autres parce qu'elles sont également le meilleur cadre explicatif dont l'élève dispose en un instant pour interpréter un phénomène donné (Giordan, 1989; 2002). Ce cadre explicatif est d'ailleurs modelé par les différents environnements de l'élève (Pellaud, Eastes et Giordan, 2005). Elles sont concrètes dans le sens où elles se manifestent par les savoirs des élèves, mais elles sont aussi abstraites dans le sens où ces conceptions sont des modes de pensée; elles découlent de raisonnements implicites et explicites, de réseau de sens et de références antérieures (voir figure 2.4). Enfin, les conceptions sont reliées entre elles par champ conceptuel (Giordan, 1989).

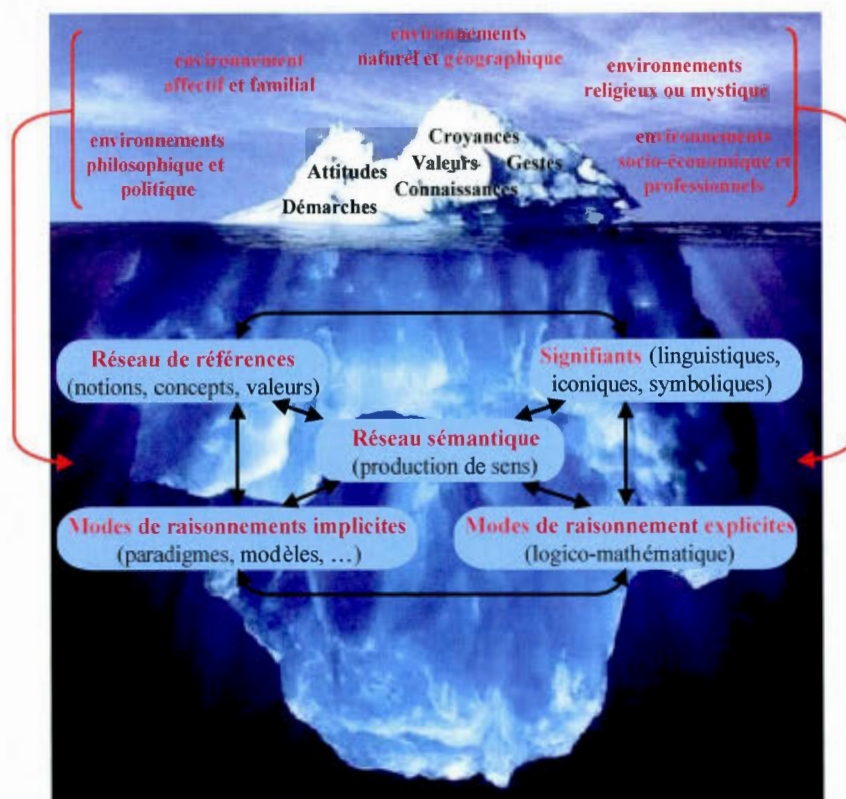


Figure 2.4
Les conceptions modelées par les différents environnements de l'élève
 (Pellaud, Eastes et Giordan, 2005, p. 30)

Selon Giordan, le CC est une transformation des conceptions (voir figure 2.5). Sa fameuse formule paradoxale est : faire *avec* (les conceptions en tant que cadres explicatifs de l'élève), mais aller *contre* (les conceptions en tant qu'obstacles). En effet, si les conceptions correspondent à des obstacles, elles sont en même temps les seuls outils que l'apprenant possède pour transformer ses conceptions. Il lui est donc impossible d'apprendre sans partir d'elles (Pellaud, Eastes et Giordan, 2005). La transformation est ainsi due à fois à une reconstruction à partir des conceptions initiales et à une déconstruction des conceptions initiales (Eastes et Pellaud, 2004). Son explication du CC est donc un mélange de rupture et de continuité. Il ne se situe donc pas radicalement dans l'un ou l'autre de ces paradigmes.

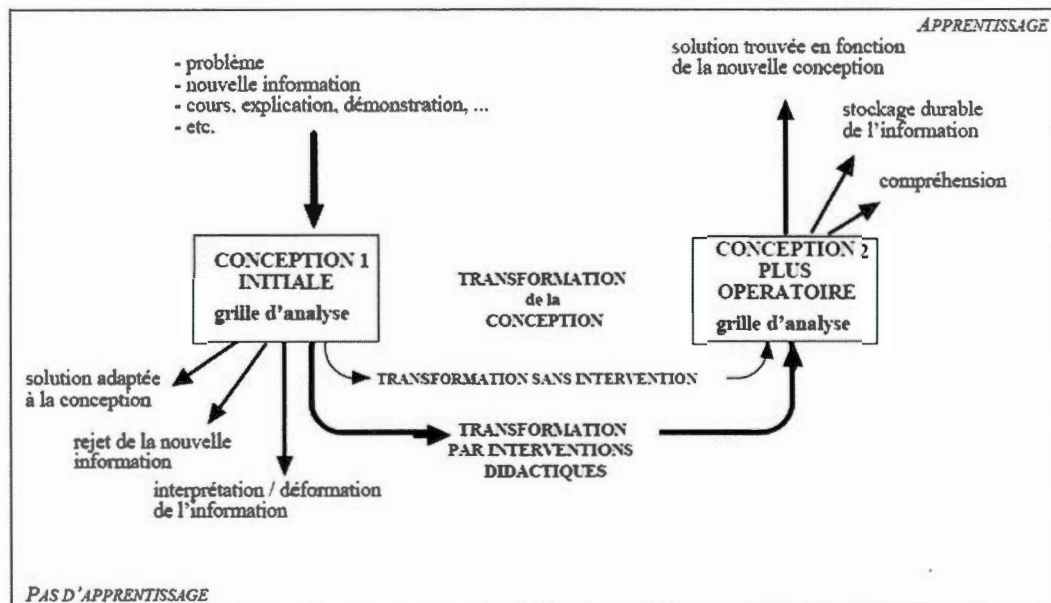


Figure 2.5
La transformation des conceptions
 (Pellaud et al., 2005, p. 32)

Dans la figure 2.5, on peut noter que la conception initiale peut dans certains cas être un filtre qui fait obstacle à l'évolution de la conception et que dans d'autres, elle se transforme sans, ou plus souvent, *avec* des interventions didactiques (Giordan, 1989). Giordan a accordé beaucoup d'attention au détail de ces interventions didactiques. Il est toutefois possible de reprocher à ce modèle le manque de finesse de l'explication du CC et des structures occasionnant les conceptions lorsqu'on le compare aux modèles de Vosniadou (1994) et de diSessa (1993).

2.2.4.5 La synthèse des quatre modèles

Dans le tableau 2.3 sont présentés succinctement les quatre modèles de CC selon les significations que les auteurs donnent à l'idée de *conception* et de celle de *processus de changement*. L'ordre des modèles utilisé dans le tableau reprend celui de leur présentation dans les sections précédentes.

Tableau 2.3
Modèles de changement conceptuel et sens accordé à « conceptions » et à
« processus de changement » par les auteurs

Modèles de CC	« Conceptions »	« Processus de changement »
Posner et al. (1982)	Elles ne sont pas justes et sont organisées en réseau.	Remplacement par une accommodation.
Vosniadou (1994)	Elles correspondent à des modèles mentaux qui résultent de théories naïves.	Révision des présuppositions et des croyances.
diSessa (1993)	Elles résultent des p-prims, soit des relations causales abstraites qui ne sont pas systématisées dans le sens naïf de la mécanique.	Coordination, systématisation des p-prims.
Giordan (1989)	Elles correspondent à la fois à des obstacles et à des cadres explicatifs.	Transformation des conceptions.

La vision de ce qui *change* dans le CC et dans le *processus de changement* varie beaucoup d'un auteur à l'autre. Pour Posner et ses collègues (1982), les *conceptions initiales* doivent être *remplacées* par des conceptions scientifiques lors d'une accommodation facilitée par un conflit cognitif, alors que pour Vosniadou (1994), des *théories cadres et spécifiques naïves* (un ensemble organisé de présupposés ontologiques, de croyances et d'observations) doivent être *révisées* afin que les *modèles mentaux* initiaux deviennent scientifiques. diSessa (1993) a lui aussi expliqué les mécanismes qui occasionnent les conceptions en développant sur des outils cognitifs (les stratégies d'observation et les réseaux causaux) appelés *primitives phénoménologiques* (p-prims) qui ne sont pas systématisées et qui doivent être *coordonnées* pour tendre vers les conceptions scientifiques visées par l'enseignement, ce qui est à l'opposé des théories naïves structurées de Vosniadou. Giordan (1989) offre un modèle qui semble à la fois reprendre l'idée de rupture et de coordination puisque selon lui, les *conceptions*, à la fois obstacles et cadres explicatifs, doivent être *transformées* lors du CC.

Si les divergences théoriques des modèles de CC sont frappantes, les convergences pour la pratique d'enseignement en sont d'autant plus étonnantes.

2.2.5 Les indications pratiques qui découlent des modèles de changement conceptuel

Selon Bêty (2009), de l'analyse des principaux modèles de CC pertinents à l'enseignement des sciences au primaire (diSessa, 1993; Giordan, 1989; Posner et al., 1982; Vosniadou, 1994) résulte une certaine convergence des applications et des implications *macroscopiques* pour la pratique d'enseignement même si les fondements théoriques, *microscopiques*, diffèrent. Certaines indications pratiques convergentes, au niveau *macroscopique*, proviennent d'intentions différentes, à un niveau *microscopique*. Par exemple, tant Posner et ses collègues que diSessa soulignent l'importance des discussions interactives lors de l'enseignement des sciences. Toutefois, alors que les premiers vont insister sur l'objectif de déstabiliser l'élève, le second va plutôt tenter d'employer au mieux les raisonnements abstraits des élèves en misant sur les parties de raisonnement qui sont justes afin d'en tirer profit. Selon Leach et Scott (2008), il importe de s'attarder aux deux niveaux (microscopique et macroscopique) pour planifier un enseignement qui vise un CC. En effet, il importe d'employer un ensemble de pratiques d'enseignement (niveau macroscopique) dont l'intention est de favoriser le CC (niveau microscopique).

Les indications pratiques qui découlent des modèles de CC peuvent être classifiées selon les catégories des modalités de la pratique d'enseignement. Les pratiques « renvoient à un individu agissant au sein d'un environnement ce qui permet d'envisager trois pôles [...] : un individu, une activité et un environnement » (Marcel, 2002, p. 81). Ces trois pôles se trouvent en interrelation dans les catégories de variables de la pratique d'enseignement qui sont présentées ci-dessous.

Les variables qui concernent la pratique d'enseignement servent habituellement à l'observer et à l'évaluer. Dans le cas de la recherche de Bêty (2009), ces variables ont

permis de donner des pistes d'opérationnalisation des modèles de CC. Le fait d'avoir des pistes d'opérationnalisation peut contribuer à la façon dont la pratique se déroule réellement en classe (Bru, 2006).

Selon les travaux de Bru (1991, 2006), les catégories qui décrivent les modalités de la pratique d'enseignement vont comme suit :

- *Structuration et mise en œuvre des contenus* : la sélection des contenus, l'organisation des contenus, les activités sur les contenus, le niveau de difficulté des activités;
- *Processus* : rôle de l'enseignant, rôle de l'élève, stratégies, interactions, relations entre les élèves et entre les élèves et l'enseignant, évaluation;
- *Cadre organisationnel* : organisation spatiale, matérielle, temporelle et sociale de la classe.

Les pôles que sont l'individu, l'activité et l'environnement sont en interaction dans ces modalités; pour chaque catégorie, les trois pôles sont mis à contribution, d'une façon plus ou moins prédominante. Ces catégories donnent une idée des variables qui peuvent être mises en jeu dans une situation où on cherche à favoriser le CC.

Des indications convergentes pour la pratique d'enseignement qui découlent des modèles de CC ont été mises en évidence pour chacune des catégories de variables par Bêty (2009) via l'analyse de contenu des principaux modèles de CC. Ces pratiques sont générales pour l'enseignement des sciences puisqu'aucun concept scientifique n'avait été ciblé en particulier. Ces indications pratiques convergentes se trouvent dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4
Convergences des indications pour la pratique d'enseignement favorisant le
changement conceptuel

Catégories des modalités de la pratique d'enseignement (Bru, 1991; 2006)	Indications pour la pratique d'enseignement (Bêty, 2009)
Structuration et mise en œuvre des contenus	<ul style="list-style-type: none"> - Amener les élèves à résoudre des problèmes; - Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel; - Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes.
Processus ³	<ul style="list-style-type: none"> - Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions; - Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant).
Cadre organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> - Employer du matériel, inviter les élèves à manipuler; - Considérer que le CC prend du temps.

Ainsi, selon la synthèse des indications pratiques macroscopiques convergentes qui découlent des modèles de CC, il est recommandé de proposer un problème aux élèves, d'enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel, de revoir à quelques reprises le même concept scientifique ou la même p-prim, de leur permettre d'exprimer leurs conceptions, de les impliquer dans des discussions, de les inviter à manipuler du matériel et de prévoir amplement de temps pour favoriser le CC (Bêty, 2009).

L'ensemble des implications pratiques de ces modèles favoriserait le mieux le CC chez les élèves. Ces indications ne correspondent pas à des prescriptions de

³ La pratique être attentif à l'épistémologie des sciences qui se dégage de son enseignement avait été mis en exergue dans le mémoire de Bêty (2009). Elle est toutefois retirée des processus favorisant le CC, car le simple fait d'adopter implicitement une posture épistémologique correctionniste, par exemple, n'est pas suffisant pour que les élèves comprennent le caractère construit des sciences (Lederman, 2007). De plus, il n'y a pas de correspondance entre la conception de la nature des sciences des enseignants et leur pratique d'enseignement (Fouad, Bell et Lederman, 1998; Mellado, 1997).

l'enseignement des sciences, mais à des suggestions (Hewson et Beeth, 1993). Complémentaires, les modèles de CC analysés expliquent chacun plus ou moins finement une facette de la réalité de l'apprentissage des sciences, du CC. La recherche (Bêty, 2009) d'où proviennent ces résultats portait globalement sur l'apprentissage et sur l'enseignement des sciences au primaire. La recherche de Bêty ne se voulait que spéculative étant donné que les indications pratiques ont été déduites à partir des modèles de CC. L'écart entre la théorie et la pratique n'est pas encore comblé. D'ailleurs, à la suite d'une « recherche toujours un peu analytique, spéculative et « objectivante », succèdent des propositions de « passage au développement », plus synthétiques, empiriques et personnelles » (Astolfi et al., 1997a, p. 7). Une recherche où une formation est développée constitue donc la suite logique de notre précédente étude. Le fait de cibler un contenu scientifique en particulier, l'électricité, permettra de mettre à l'essai la mise en œuvre coordonnée de ces pratiques qui favorisent le CC.

2.3 Les conceptions sur les circuits électriques simples

Les concepts en électricité ne sont pas évidents et simples à appréhender, notamment parce que l'électricité fait partie de notre vie quotidienne sans toutefois être observable, c'est-à-dire qu'on ne peut pas observer ni voir ce qui se passe quand un courant électrique circule dans un circuit (Cepni et Keles, 2006). Étant donné la difficulté d'appropriation que représentent ces concepts, de nombreuses recherches en didactique des sciences ont porté sur les conceptions initiales erronées en électricité, lesquelles sont fréquentes chez les élèves, ainsi que chez les enseignants du primaire (Cepni et Keles, 2006; Schoon et Boone, 1998).

Une sélection de conceptions a été effectuée parmi l'ensemble des conceptions en électricité. Différents éléments ont guidé cette sélection. Les conceptions sélectionnées concernent surtout le courant électrique, un concept par rapport auquel les élèves entretiennent spontanément des conceptions (Shaffer et McDermott, 1992).

Comme la notion de courant est généralement intuitivement présente et qu'il importe de tenir compte des conceptions lors de l'enseignement des sciences, ce concept a été considéré comme prioritaire. Les conceptions le concernant ont donc été ciblées. Les concepts au programme du primaire guident également la sélection des conceptions fréquentes. Au primaire, ce sont les circuits simples qui sont au programme et ils doivent être abordés de façon qualitative. Les conceptions fréquentes sélectionnées sont présentées selon un ordre croissant de difficulté.

- *Modèle de l'unipôle* : Selon ce modèle, dans un circuit simple, un seul fil connectant la pile à l'appareil électrique suffit pour le faire fonctionner et l'alimenter et s'il y a un autre fil, il est superflu et ne sert à rien ou est là par sécurité (voir la figure 2.6). Selon la recherche de Cepni et Keles (2006), il appert que des élèves connectent même deux ampoules sur un seul et même côté de la pile, ce qui indique qu'ils ne connaissent pas le concept de circuit fermé.

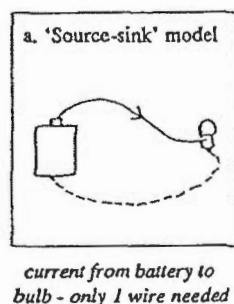


Figure 2.6
La conception *modèle de l'unipôle*
 (Summers et al., 1998, p. 163)

- *Modèle de la règle empirique* (Heller et Finley, 1992) : Dans la recherche de Cepni et Keles (2006), les élèves de cinquième année qui raisonnent selon le modèle de l'unipôle (voir la figure 2.6) vont également penser que la distance entre la pile et l'ampoule (avec un fil d'une même longueur, replié ou non) a une influence sur la force avec laquelle l'ampoule sera allumée.

- *Modèle du courant qui faiblit, qui est consommé* (Cepni et Keles, 2006; Sencar et Eryilmaz, 2004) : Selon ce modèle, le courant circule dans un sens dans le circuit, mais il faiblit graduellement parce que chaque appareil électrique du circuit consomme et utilise une partie du courant (voir la figure 2.7). Le courant qui revient à la source d'alimentation est donc plus faible que celui qui l'a quittée. Dans l'étude de cas présentée dans l'article de Summers et al. (1998), la conception initiale d'une des enseignantes correspondait à ce modèle. Cela illustre le fait que les enseignants ont parfois des conceptions initiales qui ne sont pas justes. Ce modèle ressemble à celui du courant partagé (Sencar et Eryilmaz, 2004) selon lequel les élèves croient que moins de courant revient à la source en comparaison au courant qui « quitte » la source, et que le courant est le même dans différents points du circuit peu importe la nature et la disposition des composantes électriques qui s'y trouvent.

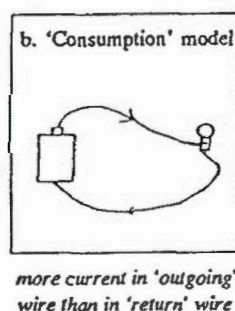


Figure 2.7
La conception modèle du courant qui faiblit
 (Summers et al., 1998, p. 163)

- *Modèle du courant qui se rencontre* (Cepni et Keles, 2006; Sencar et Eryilmaz, 2004) : Selon ce modèle, dans un circuit simple, l'électricité positive se déplace à partir de la borne positive, l'électricité négative se déplace à partir de la borne négative de la source d'alimentation et les électricités positive et négative se rencontrent à l'appareil électrique pour l'alimenter et le faire fonctionner (voir figure 2.8).

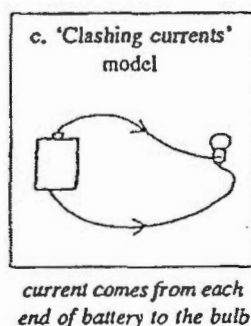


Figure 2.8
La conception modèle du courant qui se rencontre
 (Summers et al., 1998, p. 163)

- *Modèle de raisonnement séquentiel et local* (Engelhardt et Beichner, 2004; Sencar et Eryilmaz, 2004) : Il s'agit de la conception selon laquelle les élèves pensent qu'un changement dans un circuit a seulement un effet local plutôt qu'un effet sur l'ensemble du circuit. Par exemple, un élève pourrait penser que d'ajouter une ampoule en série à une autre ampoule ne changera rien à l'intensité du courant. Également, selon cette conception, un sujet croit que le courant qui voyage autour du circuit est influencé par ce qu'il rencontre au fur et à mesure comme si un changement à un certain point n'affecterait pas le courant jusqu'à ce qu'il ait atteint ce point (Engelhardt et Beichner, 2004).
- *Modèle de la conception du court-circuit* (Sencar et Eryilmaz, 2004) : Les élèves pensent qu'un fil connecté au circuit sans dispositif électrique ne sert à rien, n'est pas pertinent et qu'il peut donc être ignoré. Par exemple, des élèves qui verraient le circuit tel qu'illustré à la figure 2.9 penseraient qu'il témoigne de la réalité, c'est-à-dire que le fil sans ampoule ne sert à rien, qu'il est inutile, qu'il n'a aucune influence sur le circuit et que l'ampoule devrait s'allumer (ils ne verraient pas qu'il s'agit d'un court-circuit, et que l'ampoule ne s'allumerait donc pas).

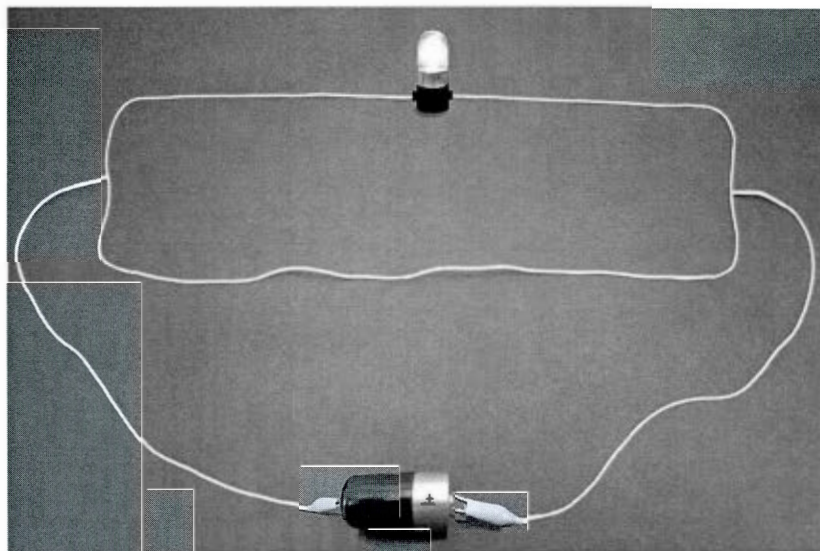


Figure 2.9

Conception du court-circuit

Illustration employée dans une étude de Turmel (2012)

- *Modèle de la pile comme une source de courant constante* (Engelhardt et Beichner, 2004) : Les élèves pensent que la pile relâche le même niveau de courant fixe dans n'importe quel circuit, peu importe l'arrangement du circuit.
- *Conception de la confusion à propos de la relation entre le courant et la tension* : Le élèves interprètent souvent la tension comme un attribut ou une propriété du courant et ont de la difficulté à appliquer la relation entre le courant et la tension (Afra et al., 2009; Clement et Steinberg, 2002; Engelhardt et Beichner, 2004).
- *Conception de la confusion à propos de la relation entre le courant et la résistance* (Afra et al., 2009; Clement et Steinberg, 2002; Engelhardt et Beichner, 2004) : Dans ce cas, la résistance est perçue comme une cause du courant, ou comme le lieu de dissipation du courant.

Ces conceptions visées permettront de déterminer les objectifs d'apprentissage de la formation sur le CC en électricité.

2.4 Enseigner en tenant compte des conceptions en électricité

Diverses recherches ont porté sur les pratiques à employer lors de l'enseignement des concepts en électricité. En fonction des conceptions ciblées, plusieurs pratiques sont présentées dans cette section. Ces pratiques sont regroupées selon les trois catégories des modalités de la pratique d'enseignement (Bru, 1991; 2006).

Structuration des contenus

Une structuration des contenus suivant la logique des conceptions a été proposée par Shaffer et McDermott (1992) et se détaille comme suit. Pour favoriser un CC par rapport au modèle de l'unipôle et au modèle de raisonnement séquentiel et local, la *considération d'un circuit comme un tout*, comme une boucle qui doit être fermée, est fort importante et doit être abordée dès la première activité en électricité. Ensuite, pour introduire la notion de courant dans le circuit fermé, il est recommandé de réaliser une manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit. Toujours selon Shaffer et McDermott (1992), la notion de résistance gagne à être introduite par la suite, en étant abordée qualitativement, et ce n'est que par la suite que la tension⁴ sera abordée.

Cela nous incite donc à aborder l'enseignement de l'électricité en débutant avec la notion de courant et de poursuivre avec les concepts de résistance et de tension (Afra et al., 2009). Ainsi, le courant et la notion de circuit fermé sont les concepts à prioriser en début de formation. Les notions de résistance et de tension suivent (Shaffer et McDermott, 1992). Cette idée d'aborder un groupe de concepts en électricité rejoint l'idée de planifier l'enseignement de plusieurs concepts connexes

⁴ L'expression tension sera employée plutôt que voltage ou différence de potentiel. Les expressions différence de potentiel et voltage prennent leur sens avec la mesure quantitative, tandis que tension peut facilement signifier «la poussée de la pile», ce qui reste qualitatif et qui sera tout à fait approprié pour les enseignants.

d'un même champ conceptuel. Par exemple, pour s'approprier le modèle scientifique du courant électrique, il faut comprendre les concepts qualitatifs de tension, de résistance, de circuit en parallèle et de circuit en série (Driver et al., 1994, cités dans Cepni et Keles, 2006).

La planification par étapes ou par petits pas favorise des CC réalisables (Clement et Steinberg, 2002). Cette idée rappelle les phases de la théorie des situations didactiques de Brousseau (1998). En effet, les différentes phases d'un jeu ou d'une activité (action, formulation, validation) permettent aux élèves de faire de petits pas vers l'élaboration d'un théorème, d'une règle mathématique. Dans la présente étude, les petits pas permettront l'appropriation de concepts en électricité et la compréhension des liens qui les unissent. Les petits pas correspondront à des activités dont le niveau de difficulté croîtra graduellement.

Pour expliciter ces concepts, certaines analogies ont été proposées. L'analogie comporte certaines limites (Carlton, 1999), mais cela n'entraîne pas une contraindre de son emploi (Glynn, 2007; Glynn, Duit et Thiele, 1995). Il suffit de souligner les limites des analogies. Il est préférable d'utiliser l'analogie en fin d'apprentissage, lorsque l'élève comprend davantage le concept, pour qu'il puisse aisément comprendre les composantes isomorphes de l'analogie (Astolfi et al., 1997b; Dupin et Joshua, 1989). Différentes analogies existent pour expliquer le courant : la chaîne de vélo (Summers et al., 1998), l'analogie thermique (Dupin et Joshua, 1994), l'analogie hydraulique (Cepni et Keles, 2006; Dupin et Joshua, 1994) et la mécanique du train (Cepni et Keles, 2006; Dupin et Joshua, 1994). Le train et la chaîne de vélo sont des objets que les élèves du primaire connaissent. Ces analogies leur sont accessibles.

Processus

L'emploi d'expérimentations et d'un enseignement constructiviste favorisent la compréhension des circuits électriques (Astes, 2005, cité dans Engelhardt et Beichner, 2004). Cette compréhension repose sur une interprétation qualitative des circuits électriques (Evans, 1978, cité dans Engelhardt et Beichner, 2004) montés, ou du récit qu'un texte peut en faire (Wang et Andre, 1991, cités dans Engelhardt et Beichner, 2004). L'enseignant a le rôle d'inciter les élèves à expliquer et à interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation qu'il propose (un montage, une image, un texte). Pour suivre le cheminement des élèves et les aider à structurer leurs conceptions au cours des activités, des techniques comme les cartes conceptuelles, les schémas ou l'association de termes peuvent être employées (Cepni et Keles, 2006).

Cadre organisationnel

L'emploi de matériel est recommandé pour favoriser la compréhension des circuits électriques (Astes, 2005, cité dans Engelhardt et Beichner, 2004). En effet, en employant du matériel lors d'expérimentations, l'apprenant reçoit une rétroaction de la situation, et non simplement d'un enseignant qui emploie son autorité pour dire si une réponse est bonne ou non (Brousseau, 1998). En effet, l'ampoule allume ou non, et si elle allume, elle allume faiblement ou fortement. C'est donc le circuit qui donne une réponse, une rétroaction, à l'apprenant et non une figure d'autorité ou un pair. Le contact et l'interaction avec le phénomène favorisent la construction des connaissances par les élèves; en effet, ils se sentent ainsi plus engagés que lorsque l'enseignant explique un phénomène sans même que les élèves se questionnent ou manipulent à son sujet. Puisque les circuits offrent de la rétroaction, il est recommandé de proposer des environnements où les élèves remarquent l'insuffisance de leurs conceptions, ce qui peut favoriser le CC (Cepni et Keles, 2006).

Étant donné l'importance du matériel, il est primordial de mettre à la disposition des élèves des piles, des fils et des dispositifs électriques (ex. : des ampoules de différents voltages et des résistances) lors de l'enseignement de concepts en électricité.

2.5 Conclusion du chapitre

Ce chapitre a abordé les éléments essentiels d'une formation, les pratiques reliées au CC et à l'enseignement de l'électricité ainsi que les conceptions fréquentes en électricité.

Les paramètres d'une formation efficace serviront à planifier le rôle du formateur, à guider ses actions et leur sens pendant les différentes activités de la formation. L'ensemble de ces paramètres devra être mis en place tout au long de la formation : aborder un contenu, en précisant la théorie qui le sous-tend; permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation; favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs; être cohérent pendant la formation entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées; prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé.

Ces paramètres d'une formation efficace font en sorte que les pratiques d'enseignement favorisant le CC ainsi que les concepts en électricité (le contenu de la formation), sont communiqués par le modelage, la démonstration et la résolution de problèmes nécessitant des manipulations. Des retours permettent également d'explicitier les concepts en électricité et les pratiques favorisant le CC.

Tel que présenté précédemment dans le chapitre, les pratiques qui favorisent le CC sont les suivantes : amener les élèves à résoudre un problème; enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel; revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes; permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions; encourager la discussion (entre pairs, avec l'enseignant); employer du matériel, inviter les élèves à

manipuler; considérer que le CC demande du temps. Ces pratiques serviront à la fois de contenu et de stratégies pédagogiques utilisées par la formatrice lors de la formation.

Les pratiques d'enseignement favorisant l'apprentissage des concepts en électricité feront également partie du contenu de la formation. Ces pratiques sont : aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé); introduire la notion de courant avec la manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit; débiter avec la notion de courant; aborder ensuite la notion de résistance; aborder en dernier lieu la notion de tension; enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas; utiliser des analogies en fin d'apprentissage, en soulignant leurs limites et en aidant les élèves à comprendre les composantes isomorphes; employer l'expérimentation; utiliser un enseignement constructiviste; faire faire aux élèves une interprétation qualitative des circuits montés ou du récit qu'un texte peut en faire; inciter les élèves à expliquer et interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée; pour aider les élèves à structurer leurs idées, utiliser des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes. Les pratiques d'enseignement à propos du temps et du matériel reprennent celles mentionnées dans les pratiques favorisant le CC en général, alors elles ne sont pas répétées ici.

Enfin, les concepts en électricité (le courant, la résistance, les types de circuit électrique, la tension) seront abordés via des activités qui mettent les conceptions fréquentes ciblées au cœur des activités. Ces conceptions ciblées sont : le modèle de l'unipôle; le modèle de la règle empirique; le modèle du courant qui faiblit, qui est consommé; le modèle du courant qui se rencontre; le modèle de raisonnement séquentiel et local; le modèle de la conception du court-circuit; le modèle de la pile comme une source de courant constante; la conception de la confusion à propos de la relation entre le courant et la tension; la conception de la confusion à propos de la relation entre le courant et la résistance.

L'ensemble de ces éléments essentiels à considérer lors du développement de la formation est présenté dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5
Synthèse des éléments du cadre théorique à considérer pour la conception de la formation

Paramètres d'une formation efficace ⁵	Pratiques d'enseignement favorisant le CC ⁶	Pratiques d'enseignement favorisant l'apprentissage des concepts en électricité ⁷	Conceptions initiales fréquentes en électricité ⁸
<ul style="list-style-type: none"> - Aborder un contenu, en précisant la théorie qui le sous-tend; - Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation; 	<ul style="list-style-type: none"> - Amener les élèves à résoudre un problème; - Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel; - Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes; - Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions; 	<ul style="list-style-type: none"> - Aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé); - Introduire la notion de courant avec la manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit; - Débuter avec la notion de courant; - Aborder ensuite la notion de résistance; - Aborder en dernier lieu la notion de tension; - Enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas; - Utiliser des analogies en fin d'apprentissage, en soulignant leurs limites et en aidant les élèves à comprendre les composantes isomorphes; 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle de l'unipôle; - Modèle de la règle empirique; - Modèle du courant qui faiblit, qui est consommé; - Modèle du courant qui se rencontre; - Modèle de raisonnement séquentiel et local; - Modèle de la conception du court-circuit;

⁵ (Blank et de las Alas, 2010; Joyce et Showers, 2002)

⁶ (Béty, 2009)

⁷ (Afra et al., 2009; Cepni et Keles, 2006; Clement et Steinberg, 2002; Dupin et Joshua, 1989; 1994; Shaffer et McDermott, 1992; Engelhardt et Beichner, 2004; Summers et al., 1998)

⁸ (Afra et al., 2009; Cepni et Keles, 2006; Clement et Steinberg, 2002; Engelhardt et Beichner, 2004; Heller et Finley, 1992; Schoon et Boone, 1998; Sencar et Eryilmaz, 2004; Shaffer et McDermott, 1992; Summers et al., 1998)

Paramètres d'une formation efficace (suite)	Pratiques d'enseignement favorisant le CC (suite)	Pratiques d'enseignement favorisant l'apprentissage des concepts en électricité (suite)	Conceptions initiales fréquentes en électricité (suite)
<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs; - Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et de modeler les habiletés visées; - Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant); - Employer du matériel de manipulation; - Accorder suffisamment de temps au CC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Employer l'expérimentation; - Utiliser un enseignement constructiviste; - Faire faire aux élèves une interprétation qualitative des circuits montés ou du récit qu'un texte peut en faire; - Inciter les élèves à expliquer et interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée; - Pour aider les élèves à structurer leurs idées, utiliser des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle de la pile comme une source de courant constante; - Conception de la confusion de la relation entre le courant et la tension; - Conception de la confusion de la relation entre le courant et la résistance.

En somme, les objectifs d'apprentissage visés pour les enseignants de la formation sont présentés ici-bas et sont divisés en trois : les objectifs portant sur les apprentissages en électricité, ceux sur les pratiques d'enseignement favorisant le CC en général et ceux sur les pratiques d'enseignement particulière à l'enseignement de l'électricité. Ces objectifs correspondent aux hypothèses *a priori* d'apprentissages visés pour les enseignants qui suivent la formation. Ainsi, à la suite de la formation :

- a. **Les enseignants comprendront les circuits électriques simples selon un modèle scientifique :**
 - i. Comprendre qu'un circuit simple en courant continu doit être fermé et qu'on l'analyse comme un tout;
 - ii. Comprendre que le courant ne diminue pas en parcourant un circuit;
 - iii. Comprendre que le courant correspond à des électrons qui circulent dans un sens;
 - iv. Comprendre qu'une ampoule située loin ou près de la pile aura la même intensité;
 - v. Comprendre la notion de court-circuit;
 - vi. Apprendre qu'il y a deux façons de brancher les composantes d'un circuit : en série et en parallèle;
 - vii. Distinguer les notions de tension, de courant et de résistance :
 - I. que le courant est influencé par la tension et la résistance dans le circuit;
 - II. que les électrons bougent dans le circuit à cause de la pile;
 - viii. Apprendre à représenter et à reconnaître des schémas de circuits.
- b. **Les enseignants sauront planifier et enseigner en vue de favoriser le CC chez leurs élèves en s'appropriant les indications pratiques suivantes :**
 - i. Amener les élèves à résoudre un problème;
 - ii. Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel;
 - iii. Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes;
 - iv. Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions;
 - v. Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant);
 - vi. Employer du matériel de manipulation;
 - vii. Accorder suffisamment de temps au CC.

c. Les enseignants sauront planifier et enseigner en vue de favoriser les apprentissages en électricité chez leurs élèves en s'appropriant les indications pratiques suivantes :

- i. Aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé);
- ii. Introduire la notion de courant avec la manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit;
- iii. Débuter avec la notion de courant;
- iv. Aborder ensuite la notion de résistance;
- v. Aborder en dernier lieu la notion de tension;
- vi. Enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas;
- vii. Utiliser des analogies en fin d'apprentissage, en soulignant leurs limites et en aidant les élèves à comprendre les composantes isomorphes;
- viii. Employer l'expérimentation;
- ix. Utiliser un enseignement constructiviste;
- x. Faire faire aux élèves une interprétation qualitative des circuits montés ou du récit qu'un texte peut en faire;
- xi. Inciter les élèves à expliquer et interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée;
- xii. Pour aider les élèves à structurer leurs idées, utiliser des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes.

Les objectifs de recherche découlent de la problématique, du cadre théorique et tiennent également compte de la méthodologie de l'ingénierie didactique qui est employée dans cette recherche pour développer la formation (voir le chapitre suivant).

L'objectif général (OG) de la recherche se formule donc comme suit :

- **Concevoir et développer un dispositif de formation tenant compte des paramètres d'une formation efficace permettant à des enseignants du primaire de s'initier aux pratiques favorisant le CC à travers l'étude de concepts en électricité et des conceptions initiales associées à ces concepts.**

À cet objectif général se greffent trois objectifs spécifiques. Ces derniers correspondent à des étapes majeures qui soutiennent le développement ainsi que l'amélioration de la formation.

Objectif spécifique 1 (OS1) :

- **Établir le portrait des caractéristiques et de la situation de l'enseignement des sciences telle que vécue par les enseignants du primaire participant à la recherche (expérience des enseignants, formation antérieure en sciences (initiale et continue), temps alloué à l'enseignement des sciences chaque semaine, confort face à l'enseignement des sciences et pratiques d'enseignement employées).**

Objectif spécifique 2 (OS2) :

- **Mettre à l'essai le dispositif de formation afin d'évaluer si les enseignants réalisent les apprentissages visés en électricité et s'ils utilisent et déclarent désormais utiliser les pratiques favorisant le CC.**

Objectif spécifique 3 (OS3) :

- **Opérationnaliser les paramètres d'une formation efficace dans le cadre du développement d'une formation portant sur le CC en électricité.**

CHAPITRE III

CADRE MÉTHODOLOGIQUE

La présente étude, qui concerne un enjeu pragmatique (Van der Maren, 1996), nécessite une recherche développement, qui s'inspire des sciences appliquées et de l'ingénierie (Artigue, 1988; Gorard, Roberts et Taylor, 2004). En effet, pour répondre à la problématique de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences au primaire, un dispositif de formation a été développé, ayant des retombées dans la salle de classe ainsi que dans le milieu de la recherche. Ce chapitre permet de préciser le type de la présente recherche, la démarche de recherche, les difficultés à surmonter et les avantages du type de recherche choisi, les hypothèses *a priori*, les grandes lignes qui guident la conception de la formation, la nature des données à recueillir, l'instrumentation, puis, finalement le mode d'analyse des données.

3.1 La recherche développement et l'ingénierie didactique

On peut aisément associer les objectifs de recherche présentés à la fin du chapitre précédent à la recherche développement de produit. En effet, si on se réfère à Loisel (2001), une des finalités de la recherche développement est le développement de produit, lequel dans ce cas-ci, est une formation portant sur le CC en électricité. Une autre finalité de la recherche développement est le dégagement de connaissances liées au processus de développement en soi, qui sera abordé dans la discussion (Harvey et Loisel, 2009).

L'ingénierie didactique (Artigue, 1988) est également un type de recherche qui s'applique dans le cas présent parce que notre formation poursuit des objectifs d'apprentissage visant les enseignants. L'ingénierie didactique vise la conception de situations didactiques mises à l'essai pour vérifier si les apprentissages visés sont réalisés. Puisque dans la présente étude, la situation didactique développée est une formation destinée aux enseignants, l'ingénierie didactique peut donc être incluse dans la famille de la recherche développement.

La recherche développement est à la fois peu documentée et polysémique. Il existe divers types de recherche développement, ainsi que plusieurs modèles et définitions. Plusieurs expressions désignent ce type de recherche : recherche développement, recherche et développement, *design experiment*, ingénierie didactique, etc. Généralement, ces recherches génèrent des objets matériels, comme des guides et du matériel pédagogique ainsi que des prescriptions qui guident l'action, comme des stratégies ou des méthodes (Loiselle et Harvey, 2007). La recherche développement peut être définie comme suit :

La recherche développement sera [...] considérée comme l'analyse du processus de développement de l'objet (matériel pédagogique, stratégies, modèles, programmes) incluant la conception, la réalisation et les mises à l'essai de l'objet, en tenant compte des données recueillies à chacune des phases de la démarche de recherche et du corpus scientifique existant. (Loiselle et Harvey, 2007, p. 44)

La partie *recherche* de la recherche développement correspond à l'analyse du processus de développement de l'objet. Le processus comprend diverses phases, dont la conception, la réalisation et les mises à l'essai de l'objet, qui tiennent compte du corpus de recherche existant et des données recueillies pendant le processus de développement et pouvant avoir une influence sur la suite.

Quant à l'intention générale de *développement*, elle est généralement partagée : développer un produit ou un processus éducatif efficace appuyé sur des recherches,

puis mis à l'essai. En effet, malgré des différences dans les processus sous-tendus par de telles recherches, elles partagent toutes une intention commune : « a design science approach allows the educational researcher to study learning in context, while systematically designing and producing usable and effective classroom artefacts and interventions » (Gorard et al., 2004, p. 579). Si souvent les recherches développement qui sont menées en éducation sous-entendent l'élaboration d'un produit ou d'un processus dont l'objectif est de favoriser l'apprentissage *des élèves*, dans ce cas-ci, il y aura une transposition pour l'apprentissage *des enseignants* qui participent à la formation.

3.2 La démarche de la recherche

Selon Gagné, Lazure, Sprenger-Charolles et Ropé, les recherches développement présentent généralement quatre étapes communes : « 1. Identification et formulation du problème à régler ou de l'objectif poursuivi, 2. Élaboration de propositions d'interventions pédagogiques, 3. Mise à l'épreuve des propositions (essai en classe), 4. Évaluation des résultats » (1989, p. 54).

3.2.1 L'ingénierie didactique

L'ingénierie didactique comporte quatre phases qui s'apparentent à celles énoncées par Gagné et ses collègues (1989) dans la section précédente. Artigue (1988) nomme celles de l'ingénierie didactique comme suit :

- L'analyse préalable;
- La conception et l'analyse *a priori*;
- L'expérimentation;
- L'analyse *a posteriori*.

L'analyse préalable correspond à l'analyse épistémologique de l'enseignement usuel, des conceptions des élèves et des contraintes (Artigue, 1988). Dans le cas de la

présente étude, la formation a été basée sur les recherches portant sur les caractéristiques des enseignants et leurs besoins, sur les éléments efficaces d'une formation, sur le CC, sur l'enseignement de l'électricité et sur les conceptions fréquentes en électricité. Le tout a été abordé précédemment dans les chapitres I et II de cette thèse. Pour permettre au dispositif de formation de répondre au problème ciblé (Van der Maren, 2003) tout en prenant appui sur les écrits scientifiques, il a paru essentiel de considérer les connaissances scientifiques issues de recherches antérieures sur le CC, sur l'enseignement de l'électricité et sur les paramètres d'une formation efficace dans l'élaboration du développement de la formation.

La phase suivante est celle de la conception, soit du développement de la formation. Dans l'ingénierie didactique d'Artigue (1988), conjointement à la conception, il y a une analyse *a priori*, qui permet de prédire les effets de l'ingénierie compte tenu de l'analyse préalable et de la conception, suivie d'une seule expérimentation. Ces hypothèses *a priori* ont été présentées à la section 2.5 du chapitre II de cette thèse.

L'expérimentation permet de faire vivre la situation didactique développée qui, dans cette étude, est une formation (Artigue, 1988). L'expérimentation est suivie de l'analyse *a posteriori*, qui fait un retour sur les prédictions de l'analyse *a priori* (Artigue, 1988). Dans la présente recherche, compte tenu des écrits scientifiques et des connaissances antérieures qui existent sur les formations et le CC, il a été convenu d'effectuer une analyse *a priori* ayant permis de mieux cibler les retombées et effets souhaités du dispositif ainsi que d'orienter le choix des méthodes et instruments pour collecter les données pertinentes.

Toutefois, selon l'ingénierie didactique (Artigue, 1988), il n'y a qu'une expérimentation du dispositif développé, tandis que plusieurs boucles de mise à l'essai et d'amélioration du produit sont prévues selon la recherche développement telle que définie par Harvey et Loiselle (2009). La section qui suit porte sur la démarche de la recherche développement selon Harvey et Loiselle (2009).

3.2.2 La recherche développement selon Harvey et Loiselle (2009)

La séquence des étapes de la recherche développement selon Harvey et Loiselle (2009) comporte les étapes de problème, de théorie, de développement, de plusieurs mises à l'essai et de diffusion des résultats. Lors de chacune des mises à l'essai de la recherche développement selon Harvey et Loiselle (2009), des données sont recueillies et analysées, ce qui permet de peaufiner et d'améliorer le produit. Comme l'objectif de cette recherche est de développer une formation optimale, plusieurs mises à l'essai apparaissent souhaitables. La première mise à l'essai est fonctionnelle (Harvey et Loiselle, 2009). Elle est réalisée auprès de l'équipe de travail ou auprès d'experts. Par la suite, les mises à l'essai empiriques se déroulent avec des sujets qui représentent le groupe visé par le produit. Enfin, si nécessaire, il est possible d'effectuer une mise à l'essai systématique auprès d'un plus large éventail de la population ciblée par le développement. Toutes ces mises à l'essai visent l'amélioration du développement.

Il y a toutefois une absence de prédictions des effets du développement dans la recherche développement, donc pas d'équivalent d'analyse *a priori*, ce qui entraîne aucune analyse *a posteriori* non plus.

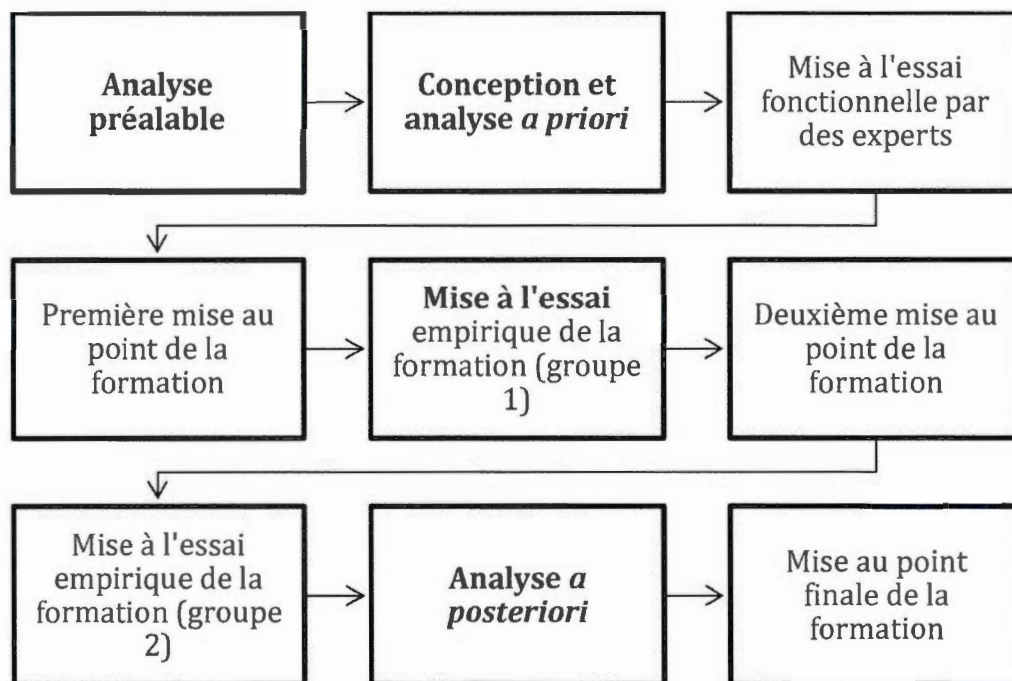
Ainsi, un amalgame de l'ingénierie didactique et de la recherche développement selon Harvey et Loiselle (2009) permet ici de joindre les forces de ces deux types de recherche : les boucles de mises à l'essai qui permettent d'améliorer le dispositif (Harvey et Loiselle, 2009) et la confrontation des hypothèses de l'analyse *a priori* et de l'analyse *a posteriori* (Artigue, 1988) qui permet de réaliser par le fait même une validation interne du dispositif de formation.

3.2.3 Amalgame des méthodologies de l'ingénierie didactique et de la recherche développement

L'ingénierie didactique (Artigue, 1988) et la recherche développement (Harvey et Loiselle, 2009) se déroulent selon des démarches qui se complètent et qui sont

appropriées pour la méthodologie de cette recherche : l'ingénierie didactique comportant l'analyse a priori et l'analyse a posteriori, la recherche de développement comportant des boucles de mises à l'essai, et toutes deux débutant par un appui sur des fondements théoriques. En effet, l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) sert l'intérêt pour les apprentissages des enseignants, par l'analyse *a priori* prévue dans les étapes, tandis que la recherche développement (Harvey et Loisel, 2009) est tout indiquée pour guider la conception de la formation ainsi que son amélioration, par les boucles successives de mises à l'essai prévues.

Compte tenu de ce qui précède, de nos objectifs de recherche et de nos moyens, les étapes de la démarche de la présente recherche sont celles présentées dans la figure 3.1. Les libellés des étapes sont repris de l'ingénierie didactique et du modèle d'Harvey et de Loisel puisque un amalgame de ces deux modèles permet de répondre de manière plus optimale aux ambitions de la présente recherche. Ces deux manières de développer la formation sont complémentaires et non contradictoires. Il en résulte une démarche inédite complète appropriée aux objectifs de la présente recherche.



Légende : - En **caractères gras**, les étapes de l'ingénierie didactique selon Artigue (1988)
 - En caractères ordinaires, les étapes de la recherche développement selon Harvey et Loiselle (2009)

Figure 3.1
Étapes de la recherche

La façon dont ces étapes ont été opérationnalisées pour cette recherche est synthétisée dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1
Opérationnalisation des étapes de la présente recherche

Étapes	Opérationnalisation
Analyse préalable	Recension des conceptions en électricité, des pratiques favorisant le CC, des éléments d'une formation efficace.
Conception et analyse <i>a priori</i>	Conception de la formation et formulation des hypothèses sur les apprentissages des enseignants en électricité et sur le CC compte tenu du déroulement de la formation élaborée, détermination des données à recueillir et analyser ainsi que des méthodes de collecte appropriées.
Mise à l'essai fonctionnelle de la formation	Mise à l'essai du dispositif de formation auprès d'experts en leur faisant remplir un questionnaire pour obtenir une rétroaction sur la formation à la suite de la lecture de la planification de celle-ci.
Première mise au point de la formation	Analyse des données recueillies auprès des experts et mise au point.
Mise à l'essai empirique de la formation (groupe 1)	Mise à l'essai lors de la formation alors qu'elle est vécue par un premier groupe d'enseignants.
Deuxième mise au point de la formation	Analyse des données recueillies lors de la formation auprès des enseignants et mise au point.
Mise à l'essai empirique de la formation (groupe 2)	Mise à l'essai lors de la formation alors qu'elle est vécue par un deuxième groupe d'enseignants.
Analyse <i>a posteriori</i>	Analyse des données recueillies lors de la formation auprès des enseignants et retour sur les hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> .
Mise au point finale de la formation	Mise au point d'une version finale de la formation.

Dans le tableau 3.1, nous retrouvons donc les grandes étapes de l'ingénierie didactique (l'analyse préalable, l'analyse *a priori*, l'expérimentation (via une des mises à l'essai empirique) et l'analyse *a posteriori*) auxquelles quelques étapes de la recherche développement selon Harvey et Loisel (2009) ont été ajoutées. Dans le

but de développer un dispositif de formation optimal, on propose plusieurs mises à l'essai (une fonctionnelle avec des experts, puis des mises à l'essai empiriques avec les enseignants), lesquelles sont suivies de l'analyse *a posteriori* à partir des apprentissages et des données recueillies auprès des enseignants. Cette analyse *a posteriori* a permis de faire une dernière mise au point.

3.3 Les difficultés à surmonter dans ce type de recherche

Certaines difficultés, discutées dans les paragraphes qui suivent, sont toutefois associées à l'ingénierie didactique et à la recherche développement.

Une difficulté liée à l'ingénierie didactique est la part des apprentissages dus à l'interaction entre l'apprenant et la situation (le *milieu a-didactique* : le problème, le matériel, le milieu physique) et à l'interaction entre l'apprenant et l'enseignant (le *milieu didactique* : les attentes plus ou moins implicites entre l'enseignant et l'apprenant, le contrat didactique) (Artigue, 2002). Une planification très détaillée incluant le matériel employé, les problèmes et activités proposées ainsi que les rôles du formateur et des apprenants ont permis de distinguer et de décrire les deux milieux pour être en mesure de présenter un équilibre entre les deux types d'interaction et dans le but d'attribuer les apprentissages tant aux activités proposées qu'aux interactions vécues avec la formatrice.

Également par rapport aux milieux didactique et a-didactique, certains décalages reprochés à d'autres ingénieries didactiques sont à éviter. Entre autres, l'accent a souvent été mis sur le potentiel a-didactique des activités d'apprentissage, sous-estimant le rôle de l'enseignant (Artigue, 2002). Or, l'enseignant est essentiel; il gère la succession des activités et interagit avec les apprenants, alors son rôle doit être prévu et décrit. Un autre décalage est la centration sur un moment de l'expérimentation, comme, considérer que seule la première rencontre est décisive pour les apprentissages (Artigue, 2002). Or, ce n'est pas suffisant; en effet,

l'apprentissage des apprenants ne dépend pas que de la première phase de la mise en place des situations problèmes. Pour éviter cet écueil, l'ensemble de l'enseignement et des activités planifiées de la formation a été détaillé et considéré pour évaluer les apprentissages réalisés.

Un des reproches parfois adressés à la recherche développement est que la distinction entre la recherche développement et le design pédagogique n'est pas toujours évidente (Loiselle, 2001). Dans la présente étude, la dimension recherche se situe à toutes les étapes. En effet, une recension des écrits pertinents à la conception de la formation a été effectuée. Par la suite, une fois la conception effectuée compte tenu de la recension, des hypothèses d'effets de la formation sur les enseignants ont été formulées dans l'analyse *a priori*. Également, la collecte de données et leur analyse pour chaque mise à l'essai correspondent à des étapes de recherche et ont permis d'améliorer le dispositif. Finalement, la discussion sur les apprentissages des enseignants, sur les paramètres de la formation et sur le processus du développement au regard de l'expérience vécue a contribué à un apport de connaissances scientifiques en didactique des sciences au primaire.

La formatrice étant également celle qui mène la recherche et celle qui développe la formation, un œil extérieur doit contribuer à l'analyse du produit. Ainsi, pour permettre à la formatrice de prendre une certaine distance et d'avoir un regard critique à propos de son propre produit, l'avis des experts a été demandé dès le départ. De plus, les éléments convergents tirés des données recueillies lors de mises à l'essai ont été pris en compte pour améliorer le dispositif de formation. La critique a donc été reçue positivement puisqu'elle permettait une amélioration du produit. À partir du moment où le développement initial du produit a été entamé, le directeur de recherche a été consulté une à deux fois par mois pour permettre à la formatrice de prendre du recul et de garder une distance favorisant l'analyse et l'amélioration du processus.

3.4 Les avantages de ce type de recherche et les critères de scientificité

La recherche développement recèle en fait de nombreux avantages qui surpassent les défis qu'elle peut représenter pour un chercheur :

La recherche développement offre une voie intéressante au chercheur en éducation et lui propose des défis stimulants; elle constitue une forme de recherche appliquée et produit des extrants souvent directement utilisables dans la pratique pédagogique (Tamir et Friedler, 1992). Elle adopte une approche globale où l'on prend en considération plusieurs des éléments du système d'enseignement et d'apprentissage et où l'on applique et confronte à la pratique un grand nombre de principes pédagogiques. En fin de parcours, la recherche développement amène la production de matériel s'appuyant sur les connaissances produites par la recherche en éducation, permet d'appliquer ces connaissances dans des contextes donnés et peut, par l'analyse de l'expérience de développement, fournir des pistes valides à d'autres chercheurs ou à d'autres concepteurs. (Loiselle, 2001, p. 95)

Une rigueur de la recherche développement peut être assurée par le respect de critères de scientificité. Dans le chapitre de livre de Loiselle (2001), on retrouve de tels critères qui sont propres aux approches qualitatives : la crédibilité, la transférabilité, la consistance interne et la fiabilité. La façon dont chacun de ces critères seront rencontrés se détaille comme suit.

Pour être crédible, cette recherche dispose d'un bon nombre de données de qualité (Loiselle, 2001). La qualité de ces données a été assurée par une collecte employant différents outils, lesquels sont présentés dans la section 3.7.3. La transférabilité est quant à elle possible si le contexte d'opérationnalisation et de déroulement est bien détaillé (Harvey et Loiselle, 2009; Loiselle, 2001) et si l'échantillon est bien décrit (Savoie-Zajc, 2004). Par conséquent, au début du chapitre présentant les résultats, le contexte, les sujets et le déroulement seront présentés et justifiés à partir des données collectées au sujet des enseignants participants. La constance interne a été assurée par une triangulation des données (en expérimentant la formation auprès de plusieurs participants) et par la prise de données à différents moments. Finalement, la fiabilité a

été assurée par l'existence d'un solide fil conducteur liant la question de recherche, les objectifs, la prise de données et l'interprétation. Le respect du devis, le journal de bord et le suivi mensuel effectué par le comité de recherche ont été des moyens employés pour maintenir ce fil conducteur. Un autre moyen de garantir la fiabilité de la recherche est la triangulation du chercheur. Dans ce type de triangulation, « le chercheur prend une distance par rapport à sa démarche et discute avec quelqu'un d'autre qui l'interroge sur les décisions prises au cours de la recherche » (Savoie-Zajc, 2004, p. 146-147). Les discussions avec le comité de recherche ont permis ainsi de vérifier la logique des données avec les résultats et l'interprétation.

Dans leur article le plus récent, Harvey et Loisel font une liste plus longue, plus complète et plus opérationnelle de critères de scientificité :

- La présentation du caractère novateur du produit ou de l'expérience;
- La mise à jour des caractéristiques essentielles du produit;
- La description détaillée du contexte d'opérationnalisation et du déroulement de l'expérience;
- La collecte de données détaillées sur le processus de développement;
- Les justifications des modifications effectuées;
- L'analyse rigoureuse des données;
- L'ouverture vers des pistes de recherche dépassant le cas;
- La rédaction et la diffusion de rapports scientifiques;
- L'établissement des liens entre l'expérience de développement réalisée et un corpus de connaissances scientifiques. (2009, p. 110)

Le dispositif de formation développé a concrètement rencontré ces critères. En effet :

- ce dispositif est novateur parce qu'à notre connaissance aucune recherche n'a porté sur un dispositif de formation traitant des pratiques favorisant le CC en électricité destiné aux enseignants du primaire et parce qu'il répond à un besoin de formation réel des enseignants du primaire;
- les caractéristiques essentielles du dispositif qui ont favorisé l'atteinte des buts poursuivis ont été dégagées;

- le contexte d'opérationnalisation et du déroulement des mises à l'essai a été détaillé; un journal de bord a permis de colliger le déroulement des mises à l'essai empiriques;
- les données ont été recueillies tout au long du processus de développement : une fiche a été soumise aux experts, la planification du dispositif a été détaillée, le journal de bord a permis de consigner le déroulement empirique versus celui planifié et la perception des enseignants ainsi que leurs apprentissages ont été sondés et observés;
- l'ensemble de ces données a permis de justifier les modifications apportées lors des mises au point;
- l'analyse des données a été effectuée par rapport aux objectifs de la recherche en relation avec les notions du cadre conceptuel;
- le dispositif développé a ouvert sur d'autres possibilités de recherche : une recherche évaluative pourrait suivre, tout comme le développement d'un autre dispositif de même type mais visant un autre phénomène en sciences ou en technologies;
- une diffusion des résultats et de l'analyse est prévue. Ils font l'objet de cette thèse. Des articles de recherche pour des revues scientifiques et professionnelles sont prévus; et
- finalement, des liens avec le corpus de connaissances existantes dans les champs du CC en électricité et de la formation des enseignants sont effectués.

À ces critères nous ajoutons la validité interne, précieuse à Artigue (1988). Elle est effectuée à partir de la confrontation consécutive des hypothèses de l'analyse *a priori* avec les apprentissages constatés lors de l'analyse *a posteriori* (Gonzalez-Martin, 2005).

3.5 Conception du dispositif de formation

Dans cette section, un aperçu du dispositif de formation initial sera présenté, pour résumer son déroulement tel que planifié dans la conception initiale. À partir des théories du CC et des connaissances actuelles sur l'enseignement des sciences au primaire, la formation a été développée de façon hypothético-déductive, ce qui a permis de formuler des hypothèses lors de l'analyse *a priori*. Celles-ci sont rappelées dans la section 3.6. Le tableau 3.2 synthétise l'opérationnalisation des paramètres de la formation présentés dans le cadre théorique.

Tableau 3.2
Opérationnalisation des paramètres dans la conception initiale de la formation

Paramètres	Opérationnalisation des paramètres
Aborder un contenu, en précisant la théorie qui le sous-tend	Les concepts en électricité ainsi que les pratiques qui favorisent le CC ont été le contenu ciblé. La théorie du CC a été vulgarisée pour donner du sens aux pratiques modelées.
Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation	Les enseignants ont participé à des manipulations en tant qu'élèves et ont eu l'occasion d'échanger à propos des activités scientifiques pour s'exercer à expliquer les concepts. Aussi, ils ont eu à mettre en pratique en classe avec leurs élèves des activités portant sur l'électricité.
Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs	Lors des séances de formation, des rétroactions ont été encouragées entre les participants et la formatrice en a fourni également. Un encadrement et un accompagnement ont été proposés et assurés par la formatrice pour la pratique en salle de classe. Une rétroaction en fin de formation pour l'ensemble du déroulement a également été planifiée et exécutée.
Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées	La formatrice a modelé des pratiques qui découlent du CC et a abordé les conceptions des enseignants pour assurer une cohérence entre le contenu et la forme de la formation. Certaines activités pouvaient être reprises par les enseignants en classe, nécessitant peu de transposition pour les élèves, afin de bien modeler certaines pratiques reliées au CC.
Prévoir une durée et une fréquence raisonnables pour le contenu visé	La durée a été de six demi-journées réparties sur environ deux mois. À cela se sont ajoutés les moments d'accompagnement (une à deux heures) en classe, par courriel et par téléphone.

Afin d'avoir la possibilité de produire les apprentissages souhaités et de respecter les budgets qu'ont pu fournir les commissions scolaires pour libérer les enseignants participant à la recherche, la formation développée dans le cadre de la présente étude comprend 18 heures d'activités réparties sur six demi-journées avec quelques heures d'accompagnement en classe (minimum une heure par enseignant, maximum deux heures) et s'est étalée sur environ deux mois. Les six séances de formation du dispositif opérationnalisent les éléments du cadre théorique quant aux paramètres d'une formation. Il a été planifié que la théorie du CC allait être modelée, utilisée, vécue et explicitée, pour assurer une cohérence entre le message et les activités de la formation. Les enseignants ont disposé de temps pour s'exercer et pour échanger entre eux afin d'être de plus en plus confortables avec les concepts en électricité et avec les pratiques qui favorisent le CC à leur égard et chez les élèves.

Dans la première conception de la formation, lors des séances de formation, les contenus ont initialement été planifiés comme suit :

- Les trois premières séances ont mis l'accent sur des activités de familiarisation avec les concepts en électricité. Pendant ces activités, la formatrice allait adopter des pratiques d'enseignement favorisant le CC dans le but de les modeler et de faire vivre, le cas échéant, un CC chez les enseignants à propos de leurs conceptions en électricité. Le CC et des pratiques le favorisant allaient être explicités dans une présentation plus formelle à la suite de ces trois premières séances;
- Les deux séances suivantes allaient être consacrées à la planification d'une séquence d'enseignement sur l'électricité pour les élèves des enseignants;
- Quelques semaines d'intervalles entre la cinquième et la sixième séance allaient permettre aux enseignants d'expérimenter leur séquence d'enseignement sur l'électricité avec leurs élèves en classe;

- La dernière séance de formation visait à permettre aux enseignants d'échanger à propos de ce qu'ils allaient avoir vécu en classe lors du déroulement de leur séquence d'enseignement et à recueillir de leurs commentaires à propos de la formation.

Les paramètres ont été opérationnalisés afin que le dispositif de formation favorise les apprentissages souhaités pour les enseignants.

3.6 Les hypothèses de l'analyse *a priori* : les apprentissages visés

La formation a été développée à partir de la synthèse de l'opérationnalisation des paramètres de la formation présentée précédemment dans le tableau 3.2. Cette synthèse a été élaborée de façon déductive à partir du corpus de recherches présenté dans le cadre théorique. Le contenu ciblé pour la formation provient également de connaissances scientifiques à propos des conceptions en électricité et des pratiques d'enseignement favorisant le CC. L'analyse *a priori* correspond à la prédiction des apprentissages des enseignants lorsqu'ils suivent la formation. Les hypothèses des apprentissages prévus pour les enseignants résultent ainsi de l'analyse *a priori*.

Les apprentissages prévus dans l'analyse *a priori* reposent sur l'analyse préalable et sont prévus pour des apprenants considérés comme des sujets épistémiques (Artigue, 2002). Les dimensions sociales, les interactions et les intentions des enseignants ont certainement un impact sur leurs apprentissages. C'est pourquoi un des objectifs de la recherche concerne la cueillette d'informations au sujet des enseignants (pour enrichir l'analyse préalable) et que des regroupements des enseignants lors de la formation ont été prévus (du travail en équipe, notamment). Les regroupements d'enseignants et leurs caractéristiques propres influencent en effet les apprentissages.

Les hypothèses de l'analyse *a priori* correspondent aux objectifs d'apprentissage visés pour les enseignants lors de la formation. Ces objectifs d'apprentissage ont été présentés dans la conclusion du cadre théorique à la section 2.5.

3.7 Instrumentation et données

Cette section présente la nature des données, les sujets ciblés, ainsi que les instruments de collecte des données.

3.7.1 Nature des données, posture et approches de la recherche

Les données sont de nature qualitative pour l'ensemble de la recherche. Deux approches ont été privilégiées : une approche déductive lors de la conception et de l'analyse *a priori*, pour développer le dispositif et formuler les hypothèses à partir des écrits scientifiques, puis une approche inductive à la suite des mises à l'essai, dans le but de faire des mises au point et de discuter des paramètres d'une formation efficace. La recherche est donc équilibrée entre l'induction et la déduction : « Entre lectures, prise en compte de modèles et théories, d'une part, et posture d'ouverture et de découverte sur le terrain, d'autre part, le chercheur doit trouver l'équilibre juste. Nous appelons cet équilibre *l'équation intellectuelle du chercheur* » (Paillé et Mucchielli, 2008, p. 18).

Ainsi, nous avons procédé par déduction pour le développement initial du dispositif de formation, à partir du cadre théorique. Les activités planifiées pour les enseignants ont en effet été basées sur la connaissance contemporaine du CC, de ses implications pour la pratique, des conceptions fréquentes en électricité, de l'enseignement qui favorise l'apprentissage de l'électricité et des paramètres d'une formation efficace.

Nous avons privilégié une posture interprétative lors des mises à l'essai. Toutefois, tout chercheur aborde un terrain de recherche avec des *a priori* et ses connaissances (Paillé et Mucchielli, 2008). La posture de la formatrice qui mène cette recherche a été exposée dans l'avant-propos de la thèse.

Les données recueillies lors des mises à l'essai ont permis d'interpréter comment améliorer la séquence et de déterminer si les enseignants avaient réalisé les apprentissages visés ou non en participant à la formation. Le but éventuel est de prédire que les enseignants effectueront les apprentissages visés lors de la formation,

ce qui rejoint l'analyse inductive selon Erickson (1998). Loisel et Harvey (2007) indiquent qu'à une posture interprétative on associe normalement des données de type qualitatif et une approche de type inductif. L'induction à partir des données donne plus de liberté pour la conceptualisation de l'objet (Loisel et Harvey, 2007). Plus précisément, l'analyse des données a suivi une logique inductive délibératoire puisque le cadre théorique a guidé le processus d'analyse (Savoie-Zajc, 2004).

Le cadre théorique a guidé la collecte des données. Tel que planifié dans les étapes de la recherche, des analyses et des mises au point récurrentes ont été prévues et incitaient à recueillir des données à toutes les étapes de la recherche (Harvey et Loisel, 2009). Ces données, qualitatives, sont provenues du journal de bord de la formatrice, de la rétroaction offerte par les experts, de la planification des enseignants, de captations vidéo des enseignants dans leur salle de classe, de questionnaires, d'entrevues semi-dirigées et des rétroactions reçues à propos de la formation lors de l'entretien de groupe. Ces outils sont détaillés à la section 3.7.3, notamment dans le tableau 3.3.

3.7.2 Experts, sujets et déontologie

Des experts, des professionnels de l'éducation et des praticiens ont été amenés à participer à cette recherche développement. Selon Loisel et Harvey, « la constitution d'une équipe regroupant le chercheur-développeur et des gens du milieu paraît souhaitable afin d'assurer une meilleure adéquation entre le produit développé et les besoins du milieu » (2007, p. 52). C'est pourquoi différents acteurs en éducation ont été impliqués. L'ensemble des personnes impliquées dans la recherche a ainsi été composé de didacticiens des sciences, de conseillers pédagogiques et d'enseignants. Leur apport a été précieux tout au long du déroulement de la recherche : « la participation des acteurs du milieu peut se faire tout au long du processus de recherche développement » (Loisel et Harvey, 2007, p. 52). Les sujets ont participé à la rétroaction à propos du dispositif de formation et ont contribué à ses

prises au point : « dans son processus de décision visant à raffiner le produit, [le chercheur-développeur] considèrera dans ses choix de développement ses propres réflexions, les perceptions, réflexions et actions des participants, et les éléments tirés de l'analyse des écrits » (Loiselle et Harvey, 2007, p. 50). L'apport des participants est donc manifeste quant aux données recueillies.

3.7.2.1 Les experts

La mise à l'essai fonctionnelle a été effectuée en collaboration avec des experts de la didactique des sciences. Trois didacticiens et deux conseillères pédagogiques ont été recrutés pour donner leur avis sur la formation à savoir si, selon eux, celle-ci allait permettre aux enseignants d'apprendre au sujet de l'électricité et des pratiques qui favorisent le CC. Une version initiale de la planification détaillée de la formation leur a été soumise. Cette planification était accompagnée d'une lettre, d'une fiche de validation et d'annexes présentant les éléments importants du cadre théorique à partir desquels la formation a été élaborée. Tous ces documents envoyés aux experts se trouvent en appendice B. Les trois didacticiens ainsi qu'une conseillère pédagogique ont répondu et envoyé leurs commentaires.

3.7.2.2 Les sujets

Une validation interne du dispositif étant visée, un échantillon de 7 à 10 enseignants était suffisant et réaliste pour expérimenter la formation lors de chacune des mises à l'essai empiriques. Les sujets participant à l'expérimentation du dispositif développé ont été des enseignants du troisième cycle du primaire qui n'avaient pas encore enseigné des concepts relatifs à l'électricité à leur groupe d'élèves durant l'année scolaire pendant laquelle ils ont suivi la formation. Ces enseignants ont été volontaires et libérés pour pouvoir participer à la formation. Huit enseignants d'une commission scolaire en périphérie de Montréal et dix enseignants d'une commission scolaire de Montréal ont été recrutés, ce qui correspond aux deux groupes des deux mises à l'essai empiriques. Une description détaillée des enseignants est présentée

dans la section 4.2 qui porte sur les résultats relatifs à l'OS1. Toutefois, un enseignant du premier groupe a dû abandonner la formation en raison d'un changement à sa tâche. Un enseignant du groupe 1 et deux enseignants se sont absentés d'une séance, et un enseignant n'a pas remis son questionnaire pré-formation, mais ils sont retenus malgré cela puisque les données disponibles à leur sujet ont permis d'assurer la mise au point finale de la formation, l'objet principal de la présente recherche.

3.7.2.3 La déontologie

Le certificat éthique a été obtenu pour effectuer la recherche. Les lettres adressées aux directions d'école ainsi que des formulaires de consentement employés dans le cadre de la recherche se trouvent en appendice C. Les données sont entreposées dans le local de recherche de la formatrice, fermé à clé. Ces données seront conservées cinq ans après l'acceptation finale de la thèse.

Pour maintenir l'anonymat des sujets, chaque sujet a été identifié par un numéro, le masculin a été employé et aucune école ou commission scolaire n'est nommée.

3.7.3 Outils de collecte de données

Les outils de collecte de données ont servi à répondre aux différents objectifs de recherche et ont contribué au respect des critères de scientificité. Comme le préconisent Harvey et Loiselle, dans la recherche développement, les données sont provenues de différentes sources et de différents outils :

Un journal de bord permettra généralement de consigner les décisions prises par le développeur ou l'équipe de développeurs, de même que les raisons motivant les choix effectués. Des entrevues, des séances d'observation et des questionnaires peuvent permettre de recueillir des informations auprès des usagers durant les diverses mises à l'essai. (2009, p. 112)

Lors de la mise à l'essai fonctionnelle avec les experts (trois didacticiens des sciences et une conseillère pédagogique en science et technologie), des questions ouvertes leur

ont été posées afin de recueillir les commentaires permettant une première mise au point. Comme mentionné, ces questions se retrouvent en appendice B.

Lors des mises à l'essai empiriques (1) et (2), les données à recueillir ont été de plusieurs ordres : les connaissances scientifiques sur l'électricité, les pratiques d'enseignement planifiées, déclarées et effectuées ainsi que les notes du journal de bord. Selon l'ingénierie didactique, les apprentissages ont été relevés en cours de séance, documentés par des notes d'observation et par la collecte des travaux réalisés comme la planification réalisée par chaque enseignant. Pour avoir davantage de données et par souci de triangulation, les connaissances scientifiques ont été recueillies avec des questionnaires distribués avant et après la formation. Des items de tests validés qui portent sur les conceptions en électricité ont été sélectionnés parmi les tests en électricité d'Engelhardt et Beichner (2004), Potvin, Mercier, Charland et Riopel (2011), Sabah (2007), Sencar et Eryilmaz (2004) et de Summers, Kruger et Mant (1998). Les items ont été traduits en français lorsque nécessaire. Le questionnaire est composé de onze questions fermées et de quatre questions ouvertes. Le même questionnaire a été distribué avant et après la formation. Les items sélectionnés correspondent aux conceptions fréquentes en électricité ciblées dans le cadre théorique et présentées dans le tableau 2.5. Un exemple de question fermée du questionnaire se trouve à la figure 3.2.

1. Est-ce que l'ampoule de ce circuit est allumée ?



- a) Oui
- b) Non

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance 5 4 3 2 1 0 Plus bas niveau de confiance

Raison :

- a) Parce que l'électricité peut circuler du haut de la pile à l'ampoule directement.
- b) Parce que n'importe quelle connexion entre la pile et l'ampoule fait allumer l'ampoule.
- c) Parce que l'électricité ne peut circuler dans le circuit.
- d) Parce que l'électricité peut seulement circuler à partir d'un côté de la pile.
- e) Autre raison (veuillez précisez) :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance 5 4 3 2 1 0 Plus bas niveau de confiance

Figure 3.2
Exemple d'item du test de Sencar et Eryilmaz
(2004, p. 609)

Chaque question à choix multiple du questionnaire est découpée en quatre sections. La première section porte sur un concept en électricité. La troisième section porte sur la raison qui explique la réponse choisie pour savoir quelle explication l'enseignant peut donner pour justifier sa réponse (Peterson, Treagust et Garnett, 1986). Les deuxième et quatrième sections permettent de connaître le niveau de confiance déclaré des enseignants par rapport à la réponse des première et troisième sections.

Les sections recueillant des données à propos de leur niveau de confiance et de leur habileté à justifier leur réponse ont permis une évaluation plus fine de la compréhension des enseignants (Sabah, 2007). Le questionnaire qui a été soumis aux enseignants avant et après la formation se trouve en appendice D.

Plusieurs moyens ont été employés pour recueillir des données à propos des pratiques d'enseignement favorisant le CC et sur l'apprentissage de l'électricité. Des entrevues semi-dirigées ont été menées auprès des enseignants avant et après la formation (voir le guide des questions des entrevues en appendice E). Ces entrevues d'une durée approximative de 30 minutes chacune ont été enregistrées en audio. La planification de la séquence d'enseignement en électricité que les enseignants ont rédigée a été analysée. Les enseignants ont également tous été observés et filmés en classe une fois pendant une à deux heures de leur séquence d'enseignement, selon leur horaire. Une légère participation de la formatrice a été effectuée en appui à l'enseignant lors de l'observation. Cette participation a permis à la formatrice d'accompagner l'enseignant et de comprendre la complexité de son travail, lui qui œuvre dans un environnement dynamique ouvert dans lequel plusieurs contraintes s'exercent. Enfin, dans un journal de bord, la formatrice a colligé des notes à propos du déroulement des entrevues, de la formation, des observations et de l'analyse des données. D'ailleurs, « le meilleur outil de l'analyse est encore la lecture, la relecture et la re-relecture des notes prises au cours des observations et des entrevues » (Deslauriers, 1991, p. 81). L'ensemble de ces données concerne les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC et l'apprentissage des conceptions en électricité. Ces pratiques d'enseignement sont résumées dans le tableau 2.5.

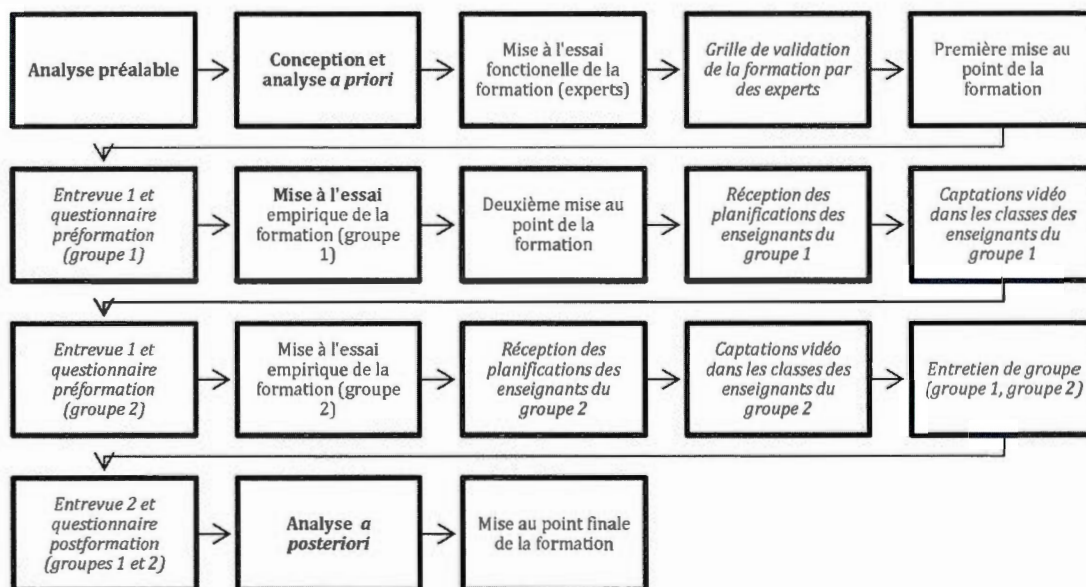
Un entretien de groupe a eu lieu à la fin de la dernière demi-journée de formation et a été animé selon les principes préconisés par Boutin (2007) (voir le guide de l'entretien de groupe en appendice F). Les entretiens de groupe ont été filmés et ont permis de recueillir des déclarations à propos des paramètres d'une formation efficace.

L'ensemble des outils est présenté dans le tableau 3.3. Les données qu'ils permettent de recueillir ainsi que leur association avec les objectifs de la recherche y sont indiquées.

Tableau 3.3
Les données et les objectifs de recherche en fonction des outils employés

Outils	Données	Objectifs de recherche			
		OG	OS1	OS2	OS3
Questionnaire préformation	Données sur la compréhension des concepts en électricité.	x		x	
Entrevue préformation	Caractéristiques déclarées des enseignants et de leur enseignement des sciences avant la formation.	x	x	x	
Journal de bord	Notes de la formatrice à propos du déroulement des entrevues, des mises à l'essai empiriques, des observations en classe et de l'analyse des données.	x	x	x	x
Planification des enseignants	Pratiques d'enseignement planifiées.	x		x	
Captations vidéo en classe	Pratiques d'enseignement effectives.	x		x	
Entretien de groupe	Déclarations des enseignants à propos de la formation.	x			x
Questionnaire postformation	Données sur la compréhension des concepts en électricité.	x		x	
Entrevue postformation	Déclarations des enseignants sur la formation, sur leurs caractéristiques, sur leur enseignement des sciences après la formation et sur leur enseignement des sciences à l'avenir.	x		x	x

Le schéma de la figure 3.3 illustre les étapes de la présente recherche développement ainsi que les moments de collecte de données.



Légende : - En **caractères gras**, les étapes de l'ingénierie didactique selon Artigue (1988)
 - En caractères ordinaires, les étapes de la recherche développement selon Harvey et Loisel (2009)
 - En *caractères italiques*, les moments de collecte de données

Figure 3.3
Les étapes de la présente recherche développement et les moments de collecte de données associés

3.8 Les niveaux d'écriture des données

Selon Paillé et Mucchielli (2005), le travail d'écriture des données correspondant progressivement à l'analyse comporte trois niveaux : le travail de transcription, le travail de transposition et le travail de reconstitution.

Dans la présente recherche, les scènes observées pendant la formation et les témoignages ont été traduits dans une forme discursive écrite dans les notes du journal de bord et dans les verbatim. Les entrevues enregistrées ont été transcrites mot-à-mot par quatre assistantes de recherche dont le formulaire de confidentialité se trouve en appendice C. La transcription a été vérifiée et entièrement relue par l'auteure de cette thèse.

Le travail de transposition correspond au moment où les notes ou les verbatim sont annotés, commentés ou catégorisés et où les mots et les gestes des sujets sont soupesés et repris par le chercheur (Paillé et Mucchielli, 2005). Dans cette recherche, les verbatim de même que les captations vidéo ont été codés, les questionnaires ont été corrigés et les notes du journal de bord ont permis de rappeler le contexte et l'importance de chaque donnée. Les détails associés à l'analyse et au codage sont présentés dans les sections qui suivent.

Finalement, le travail de reconstitution correspond à ce qui sera présenté dans les chapitres IV et V dans lesquels sont rapportés les résultats et leur interprétation.

3.9 Analyse des données

Les données recueillies ont été analysées de manière qualitative. Plus précisément, l'analyse thématique fut employée pour arriver à condenser les données et à rédiger les résultats correspondant aux objectifs de la recherche. L'analyse thématique permet, « en somme, à l'aide des thèmes, de répondre petit à petit à la question générique type, rencontrée dans divers projets d'analyse : qu'y a-t-il de fondamental dans ce propos, dans ce texte, de quoi y traite-t-on? » (Paillé et Mucchielli, 2005, p. 123). Dans cette recherche, l'analyse a permis d'associer les thèmes (aussi appelés codes) à des segments des verbatim et des captations vidéo. Les thèmes ont été regroupés par rubriques, lesquelles correspondent aux hypothèses de l'analyse *a priori*.

Un thème est « un ensemble de mots permettant de cerner ce qui est abordé dans l'extrait du corpus correspondant tout en fournissant des indications sur la teneur des propos » (Paillé et Mucchielli, 2005, p. 133). Les rubriques du cadre théorique seront repérées puis déclinées en thèmes de façon émergente. Comme en sciences de l'éducation on étudie des questions reliées à des phénomènes sociaux et qu'il est impossible d'accéder à une perspective complète de la réalité, le codage fermé risque

de faire passer le chercheur à côté de données intéressantes et pertinentes à considérer pour répondre à sa question de recherche.

Avec des données qualitatives, la grille de codage mixte est pertinente et pratique : la grille de départ permet de distinguer le bruit de l'information (Van der Maren, 1996), tout en étant modifiable pour intégrer des codes qui permettent de condenser de l'information pertinente à la question de recherche. La codification permet de réduire les données peu à peu et d'établir des liens entre les catégories (Van der Maren, 1996). Les catégories (les rubriques) ont été tirées du cadre théorique et se trouvent dans le tableau 2.5. Ces rubriques ont été prédéterminées afin d'être confrontées avec les données recueillies, mais certaines pouvaient émerger et d'autres, être mises de côté en cours de route (Deslauriers, 1991). Cette manière d'aborder les données a permis de découper d'avance la réalité à partir du cadre théorique et a facilité l'analyse, mais l'inconvénient est que des données ou que des hypothèses hors de ce cadre ont pu être négligées même si une ouverture à l'émergence était présente (Deslauriers, 1991).

Cette démarche de thématisation a été « accompagnée, en aparté, d'un travail systématique d'inventaire des thèmes à mesure de leur formulation » (Paillé et Mucchielli, 2005, p. 133). Un document à part contient donc les thèmes retenus ainsi que leur correspondance avec les rubriques (les hypothèses *a priori*). Les fusions, les divisions et les regroupements ont également été notés.

La chercheure-formatrice a codé les données. Elle avait tous les outils pour coder les données le plus en conformité avec la réalité à analyser grâce à la sensibilité théorique et expérientielle acquise. En effet, la sensibilité théorique et expérientielle (Paillé et Mucchielli, 2005) a découlé de ses connaissances scientifiques et de son expérience acquise au cours de la recherche étant donné le fait qu'elle ait été en contact avec les sujets, les milieux d'enseignement des enseignants et qu'elle ait animé la formation. D'ailleurs, comme l'indiquent Paillé et Mucchielli (2005), il est irréaliste que deux chercheurs arrivent à la même codification et à la même catégorisation puisque l'analyse qualitative ne se

limite pas à résumer le contenu d'un texte, mais bien à arriver à une conceptualisation d'un phénomène étudié. Néanmoins, il est recommandé qu'un évaluateur externe évalue la rigueur de l'analyse en consultant les données, l'évolution des thèmes associés aux rubriques et l'analyse en cours de route (Creswell, 2007). Étant donné les ressources disponibles et par souci de rigueur de l'analyse, un œil externe a été impliqué. Le directeur de recherche a fourni ce regard externe lors de fréquentes rencontres (prévues aux deux ou trois semaines pendant toute la durée du processus d'analyse, c'est-à-dire sept mois).

3.10 Opérationnalisation de l'analyse

Le corpus des données a été lu (dans le cas des questionnaires et des verbatim) et visionné (dans le cas des captations vidéo) pour se l'approprier, dégager des thèmes et prendre des notes (Deslauriers, 1991; Paillé et Mucchielli, 2005). Les documents et les vidéos ont été conservés tels quels et n'ont pas été subdivisés. Les verbatim, volumineux, ont été mis en ligne plutôt qu'en appendice. Le lien pour les consulter peut être fourni sur demande.

Des thèmes (les codes) ont été associés aux extraits pertinents, donc certains propos ou certains moments des captations vidéo ont été considérés non pertinents puisqu'« aucun témoignage n'est totalement pertinent pour un analyste » (Paillé et Mucchielli, 2005, p. 140). Le logiciel *Excel* a quant à lui été employé pour coder les captations vidéo en salle de classe ainsi que les questionnaires. Le nombre d'occurrences de chaque code a été comptabilisé dans les captations vidéos et dans les planifications afin d'avoir une idée de la fréquence d'emploi des pratiques d'enseignement. Chaque fois qu'une pratique était observée, une occurrence était comptée.

Les questionnaires ont été transcrits et compilés dans des tableaux, la fonction « filtre » permettant de regrouper et d'analyser les données pour chacune des questions. Les vidéos étaient rapportés par de nombreuses notes dans un tableau et ces dernières étaient par la suite codées. La fonction de « filtre » a été employée pour effectuer les

groupements nécessaires à l'analyse. Le logiciel *NVivo 10* a quant à lui été utilisé pour coder les entrevues, les entretiens et les planifications. Deux logiciels ont été employés, car l'accès au logiciel *NVivo 10* a été retardé par des contraintes hors du contrôle de la chercheure-formatrice.

Une fois les thèmes attribués, eux-mêmes associés aux rubriques, les données et les thèmes inclus dans chaque rubrique ont été examinés afin d'en tirer des résultats ainsi qu'une interprétation. La discussion pousse ainsi plus loin l'interprétation en « faisant parler » les résultats (Paillé et Mucchielli, 2005).

3.11 Conclusion du chapitre

Pour conclure, les types de recherche pertinents à cette étude sont l'ingénierie didactique et la recherche développement, lesquelles comportent les phases qui permettent de développer et d'améliorer un produit qui est dans ce cas-ci la formation. En particulier, les phases de l'analyse *a priori* et de l'analyse *a posteriori* permettent d'examiner si les apprentissages visés ont été réalisés et les multiples mises à l'essai permettent des améliorations.

Les critères de scientificité associés à la recherche ont été présentés tout comme les moyens employés pour les respecter.

Cette formation a initialement été conçue de manière à atteindre les objectifs spécifiés à partir des écrits scientifiques cités dans les chapitres I et II. Ce chapitre a illustré comment les éléments et paramètres tirés des écrits allaient être opérationnalisés.

Enfin, les sujets ayant participé à l'étude, les outils de collecte de données ainsi que l'analyse thématique ont été présentés.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Ce chapitre présente les résultats de la recherche. Ces résultats sont regroupés en cinq sections et présentés par objectif de recherche.

Puisque « les conditions de l'enquête (méthodes de recueil de l'information, choix des sites et des participants, durée des séjours ou importance et variété des entretiens) doivent être pensées, justifiées et présentées » (Paillé et Mucchielli, 2008, p. 19), la section 4.1 porte sur le déroulement du développement du dispositif de formation. Ceci donnera au lecteur une idée de la chronologie des étapes de la recherche ainsi que du contexte de la collecte des données.

La section 4.2 dresse le portrait des enseignants ayant participé aux mises à l'essai et décrit les caractéristiques de leur enseignement des sciences (OS1).

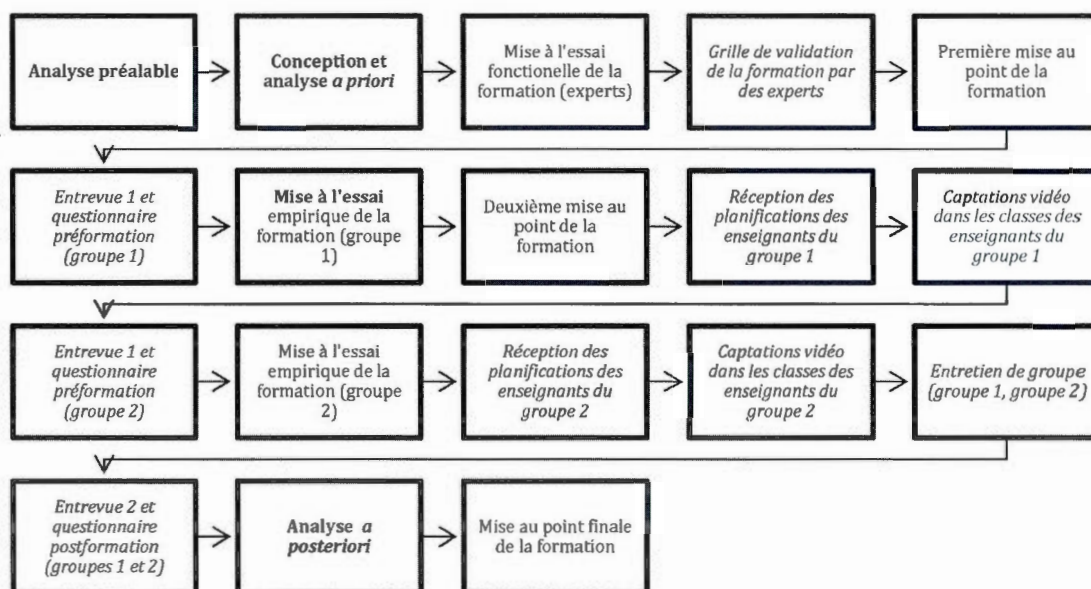
La section 4.3 présente l'analyse *a posteriori* des apprentissages des enseignants en fonction des hypothèses *a priori* (OS2). Les apprentissages relatifs aux concepts en électricité font l'objet de la section 4.3.1. Les apprentissages des pratiques d'enseignement qui favorisent le CC et des pratiques particulières à l'enseignement de l'électricité sont traités en parallèle à la section 4.3.2.

La section 4.4 présente les résultats de la concrétisation et de l'opérationnalisation de chacun des paramètres d'une formation efficace dans le cadre de l'élaboration de la formation et des mises à l'essai (OS3).

Enfin, la section 4.5 énumère les recommandations visant à bonifier la formation pour la version mise au point finale qui peut être consultée à l'appendice A (OG).

4.1 Déroutement du processus du développement et de la collecte des données

Le but de cette section est de rendre compte du contexte du déroulement du processus de développement du dispositif de formation tel qu'il a été planifié et vécu et de l'opérationnalisation de la collecte des données. Le journal de bord contenait les données permettant de consigner le déroulement. La figure 4.1 présente en rappel l'ensemble des étapes de la recherche ainsi que les moments de collecte de données associés.



- Légende :
- En **caractères gras**, les étapes de l'ingénierie didactique selon Artigue (1988)
 - En caractères ordinaires, les étapes de la recherche développement selon Harvey et Loiseleur (2009)
 - En *caractères italiques*, les moments de collecte de données

Figure 4.1
Les étapes de la présente recherche développement et les moments de collecte de données associés

Les étapes se sont déroulées dans l'ordre prévu. Deux groupes ont été mis à contribution pour les mises à l'essai empiriques. Par souci de transparence, un compte rendu de chaque étape et de son contexte est présenté dans les sous-sections suivantes. Le seul amendement aux étapes prévues fut le chevauchement partiel des périodes de mises à l'essai empiriques. Les détails à ce propos se trouvent dans la section 4.1.7. Dans les sections qui suivent, l'ensemble du déroulement est détaillé, selon l'ordre des étapes de la figure 4.1.

4.1.1 Analyse préalable

L'« analyse préalable » est la première étape de l'ingénierie didactique et de la recherche développement. Elle correspond à l'analyse du problème et des références théoriques disponibles pour y répondre. L'analyse préalable équivaut donc au contenu de la présente thèse abordé dans la problématique et dans une partie du cadre théorique. Cette documentation préalable a permis d'identifier les besoins de formation en sciences des enseignants du primaire et de cibler les critères théoriques d'un dispositif de formation efficace.

4.1.2 Conception et analyse *a priori*

Ensuite, lors de l'analyse *a priori*, les hypothèses d'apprentissages visés chez les enseignants ont été formulées. Ces hypothèses *a priori* qui concernent les apprentissages en électricité et les pratiques favorisant le CC ainsi que les apprentissages en électricité sont présentées à la fin du cadre théorique à la section 2.5. Lorsque cette étape fut complétée, une première version de la formation a été développée. La formation a été planifiée de façon détaillée. Pour chaque activité, plusieurs éléments indicateurs ont été inscrits : le but, la durée, le matériel nécessaire, le regroupement des enseignants, la sécurité, le rôle de la formatrice, le rôle attendu des enseignants ainsi que les documents pertinents à l'activité. Toutes les activités ont été planifiées afin que les enseignants puissent réaliser les apprentissages visés dans les hypothèses *a priori*.

4.1.3 Mise à l'essai fonctionnelle de la formation et collecte des grilles de validation auprès des experts

La mise à l'essai fonctionnelle fut réalisée grâce à la collaboration de trois didacticiens des sciences (professeurs d'université en la matière) et de celle d'une conseillère pédagogique en sciences. Ces experts ont reçu une lettre mettant en contexte la recherche et ce qui était attendu de leur part dans le processus de développement, la planification détaillée de la formation, la grille de validation (comportant 6 questions ouvertes), quelques éléments du cadre théorique en annexe de cette lettre ainsi que les objectifs visés par la formation. Tous ces documents se trouvent en appendice B. Les quatre experts ont disposé de deux semaines pour répondre et envoyer leur fiche complétée. Ils étaient invités à répondre à des questions concernant la faisabilité de la formation, la possibilité d'atteindre les objectifs visés, la concordance avec le cadre théorique et une section leur permettait de formuler des suggestions.

4.1.4 Première mise au point de la formation

Une fois que les grilles ont été récupérées par la chercheure-formatrice, les commentaires ont été pris en compte et une première mise au point de la formation a été réalisée.

Les experts ont donné des commentaires positifs concernant la faisabilité de la formation, la possibilité d'atteindre les objectifs visés, sa cohérence avec le cadre théorique et sa cohérence interne selon la suite des activités. Trois suggestions de modifications mineures dans les activités ont été conseillées : intervertir deux activités de présentation, aborder la question du matériel que les enseignants auront à se procurer dès le début de la formation (ou même avant, lors des entrevues 1) et parler de défis *électriques* plutôt que de défis *électroniques* étant donné la nature des défis. Quelques suggestions ont été formulées par rapport à l'animation et à la gestion du temps : accorder du temps d'exploration et de manipulation particulièrement au

début de la formation, vulgariser davantage les concepts en électricité pour favoriser l'homomorphisme et favoriser la participation collaborative des enseignants en ne les rebutant pas avec des plans de travail trop exigeants. Une attitude d'ouverture et de prise en compte des enseignants participants était donc suggérée. Ces suggestions et conseils ont été pris en compte. Ils n'ont toutefois pas entraîné de modifications majeures à la planification de la formation. Cette formation mise au point a donc été très similaire à la formation planifiée lors du développement initial.

4.1.5 Entrevue 1 et questionnaire préformation (groupe 1)

Avant la mise à l'essai empirique de la formation avec le groupe 1, chaque enseignant de ce groupe a été rencontré pour l'entrevue 1. Tous les enseignants ont reçu le questionnaire préformation portant sur les concepts en électricité lors de l'entrevue 1. Ils l'ont complété avant le début de la formation de façon à le remettre à la chercheure-formatrice lors de la première demi-journée de formation. Ils ont eu environ deux semaines pour le compléter.

4.1.6 Mise à l'essai empirique de la formation (groupe 1)

La formation telle que planifiée après la première mise au point a été mise à l'essai empiriquement avec le groupe 1 composé de sept enseignants. Afin de noter si la planification de la formation se déroulait comme prévu ou non, après chaque demi-journée de formation, la chercheure-formatrice rédigeait un journal de bord pour décrire le déroulement. Certaines activités ont pris plus de temps que prévu et d'autres ont été légèrement modifiées *in situ* pour respecter le rythme du groupe. Une activité de la deuxième journée de formation portant sur l'exploration des moteurs et des sonneries a causé des difficultés. Ainsi, une activité a dû être ajoutée lors de la troisième rencontre pour permettre aux enseignants de comprendre l'impact du moteur et de la sonnerie sur le circuit. Dans le tableau 4.1 se trouve le détail des changements survenus lors du déroulement des rencontres de formation.

Tableau 4.1
Changements survenus entre la formation planifiée après la première mise au point et celle telle que vécue lors de la mise à l'essai empirique (groupe 1)

Demi-journées	Changements survenus	
1	Modifications	<ul style="list-style-type: none"> - Une seule pile a suffit pour faire le défi 0 de l'activité 1.3. - Seul l'aluminium (et non le nichrome, moins accessible comme matériel) a été utilisé pour démontrer le court-circuit lors de l'activité 1.4. Les piles 9 volts ne fonctionnant pas toutes très bien, la formatrice a dû faire une démonstration. - Les défis électriques (activité 1.5) ont duré une heure au lieu de 45 minutes et le retour en grand groupe a été repoussé à la rencontre 2. - Lors des défis, les enseignants n'ont pas tracé les circuits avant de les faire.
	Ajout	<ul style="list-style-type: none"> - Une analogie du courant a été présentée dès l'activité 1.4 pour le vulgariser. Le courant a été associé à une chaîne humaine (des électrons) qui circule dans un couloir, des murs de mousses (résistances) se dressant sur leur chemin.
	Retraits	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de temps pour écrire au tableau les moyens pour faire exprimer les conceptions des élèves à la fin de l'activité 1.3. - L'activité de retour 1.6 n'a pas été effectuée.
2	Modification	<ul style="list-style-type: none"> - Le débat concernant le conflit cognitif lors de l'activité 2.2 n'a pas eu lieu : 6 des 7 enseignants avaient la même hypothèse de départ pour le défi électrique A.
	Ajout	<ul style="list-style-type: none"> - Au début du jour 2, le retour sur les défis a été fait avec un diaporama dont les diapositives étaient les schémas et dessins des enseignants, numérisés, pour voir différentes réponses possibles.
	Difficulté	<ul style="list-style-type: none"> - L'activité exploratoire 2.4 a rendu confus les enseignants. Des dispositifs sonores et des moteurs ont été ajoutés avec la consigne simple de monter des circuits et d'interpréter la force du courant. Les enseignants ayant mis en série un moteur et une ampoule ont pensé que le courant était consommé par l'ampoule.
	Retraits	<ul style="list-style-type: none"> - Les analogies prévues à la fin de 2.4 n'ont pas eu lieu. - Étant donné les difficultés vécues lors de l'activité 2.4, la carte conceptuelle prévue en 2.5 a aussi été reportée. La rencontre s'est terminée avec l'activité 2.4.

3	Ajouts	<ul style="list-style-type: none"> - Une démonstration de montages dans lesquels des mesures d'ampérage, de voltage et de résistance étaient prises a été ajoutée. - Les analogies ont été abordées à la suite de cette démonstration. - La carte conceptuelle a été ajoutée après les analogies.
	Retrait	- L'activité de retour 3.4 sur la synthèse des pratiques d'enseignement a été retirée puisque les enseignants étaient en réalisation de leur projet de pièce de maison.
4	Modification	- L'activité 4.3 de présentation des modèles de CC, des conceptions fréquentes et des concepts a été plus courte que prévu. Les enseignants ont donc eu plus de temps pour planifier (4.4).
	Retrait	- L'évaluation d'un projet de l'activité 4.2 n'a pas été réalisée puisque les critères d'évaluation sont dans le cahier de traces et que ça aurait surtout été une redite du projet d'une équipe à l'autre.
5	Retrait	- Les enseignants ne se sont pas exercés à animer des activités qu'ils avaient planifiées (activité 5.3). Ils ont plutôt échangé du matériel et des activités; discuté ensemble et planifié en collaboration les uns avec les autres.
6	Changement	- Par manque de temps, on a dû réduire la durée accordée à l'activité synthèse 6.4.

4.1.7 Deuxième mise au point de la formation

La deuxième mise au point de la formation a été réalisée à partir du récit du journal de bord rédigé pendant la mise à l'essai empirique (groupe 1). Les notes du tableau 4.1 ont donc servi à rédiger la planification de la formation pour cette deuxième mise au point. D'autres données comme celles recueillies dans les captations vidéo, les questionnaires postformation ou dans les entrevues postformation des enseignants du groupe 1 ne pouvaient pas être utilisées pour cette mise au point. En effet, pour des raisons de logistique et de coordination avec les commissions scolaires participantes, une semaine a séparé la 5^e demi-journée de formation du groupe 1 de la première demi-journée de formation du groupe 2. Quand le groupe 2 a entamé sa formation, les

enseignants du groupe 1 n'avaient donc pas encore été accompagnés en classe, n'avaient pas réalisé l'entretien de groupe, n'avaient pas accordé l'entrevue 2 et n'avaient pas complété le questionnaire postformation.

Dans le tableau 4.2, un calendrier de formation de chacun des groupes montre ce rapprochement des dates, le chevauchement des moments où les enseignants expérimentaient en classe et le rapprochement de la 6^e demi-journée des deux groupes.

Tableau 4.2
Dates des rencontres de formation de chaque groupe en 2011

	Demi-journée 1	Demi-journée 2	Demi-journée 3	Demi-journée 4	Demi-journée 5	Temps d'arrêt	Demi-journée 6
Groupe 1	11 octobre	13 octobre	19 octobre	20 octobre	25 octobre		6 décembre
Groupe 2	2 novembre	7 novembre	9 novembre	14 novembre	16 novembre		13 décembre

Les changements apportés à la formation lors de la mise au point (2) reprennent les changements mentionnés dans le tableau 4.1. Ils sont synthétisés dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3
Changements inscrits dans la formation après sa deuxième mise au point

Demi-journées	Changements inscrits dans la formation	
1	Modifications	<ul style="list-style-type: none"> - Une seule pile suffit pour le défi 0 de l'activité 1.3. - Seul l'aluminium (et non le nichrome, moins accessible comme matériel) est utilisé pour démontrer le court-circuit lors de l'activité 1.4. L'activité est prévue être une démonstration plutôt qu'une expérimentation. - Lors des défis électriques, les enseignants peuvent directement essayer de monter le circuit avant de le dessiner.
	Ajouts	<ul style="list-style-type: none"> - Un croquis d'une ampoule est utilisé dans le retour de l'activité 1.3 pour bien en identifier les parties. - Une analogie du courant est ajoutée dès l'activité 1.4 pour le vulgariser. Le courant a été associé à une chaîne humaine (des électrons) qui circule dans un couloir, des murs de mousses (résistances) se dressant sur leur chemin. - Une démonstration d'un montage avec un interrupteur, une ampoule et un court-circuit a été ajoutée à la fin de l'activité 1.4. - Une explication des termes « ouvert » et « fermé » est ajoutée au début des consignes de l'activité 1.5 sur les défis électriques.
	Retraits	<ul style="list-style-type: none"> - Le retour sur les défis électriques est prévu le jour 2. - Le retour sur la première rencontre de formation est retiré.
2	Modifications	<ul style="list-style-type: none"> - Davantage de temps est accordé à l'activité d'analyse des photos de circuits (2.3). - La nouvelle activité 2.4 est maintenant une activité de comparaison de circuits, afin d'explorer les effets des changements dans le circuit sur le courant, les résistances et la tension.
	Ajouts	<ul style="list-style-type: none"> - Lors de l'accueil en 2.1, retour sur la première rencontre. - Au début du jour 2, le retour sur les défis a été fait avec un diaporama dont les diapositives étaient les schémas et les dessins des enseignants, numérisés, pour voir différentes réponses possibles.
	Retrait	<ul style="list-style-type: none"> - La carte conceptuelle prévue en 2.5 est reportée à la rencontre 3.

3	Modification	- Retrait du moteur dans le matériel et les contraintes du projet (activité 3.3).
	Ajouts	- Une discussion sur l'explicitation des pratiques d'enseignement employées par la formatrice est ajoutée lors de l'accueil en 3.1. - La carte conceptuelle de la rencontre 2 est transférée après l'activité 3.1.
	Retrait	- L'activité de retour 3.4 sur la synthèse des pratiques d'enseignement est retirée pour accorder plus de temps à la réalisation des projets de pièce de maison.
4	Modification	- Un lexique des concepts en électricité et un document avec les symboles sont ajoutés à l'activité 4.3 portant sur la théorie.
	Retraits	- L'évaluation d'un projet de l'activité 4.2 est retirée puisque les critères d'évaluation sont dans le cahier de traces et que cette évaluation aurait surtout été une redite du projet. - La grille d'Astolfi et ses collègues (1997b) a été retirée des outils de planification étant donné qu'elle n'a pas été utilisée.
5	Retrait	- Les enseignants n'ont pas de temps pour animer des activités qu'ils ont planifiées (activité 5.3). Ils pratiqueront informellement en travaillant en équipe et en verbalisant en grand groupe.
6		- Aucun changement.

4.1.8 Réception des planifications des enseignants (groupe 1)

Les enseignants du groupe 1 n'ont pas réussi à terminer complètement leur planification pendant la période prévue lors du déroulement de la formation. Cependant, ils ont tout de même pu envoyer par courriel leur planification dès qu'elle fut terminée, au plus tard la veille de la captation vidéo dans leur classe.

4.1.9 Captations vidéo dans les classes des enseignants du groupe 1

À la suite des cinq premières demi-journées de formation, quelques semaines sans rencontre en groupe ont permis aux enseignants de vivre leur propre séquence d'enseignement en électricité avec leurs élèves. Pendant l'enseignement de cette séquence, la chercheure-formatrice s'est rendue dans la classe de chaque enseignant pour filmer une séance d'environ une heure.

Chaque enseignant du groupe 1 a reçu la chercheure-formatrice dans son école. Cette dernière a profité de cette rencontre pour donner des conseils et des suggestions aux enseignants et pour répondre à leurs questions, le cas échéant, pendant ou après la séance. Pendant la période filmée, la chercheure-formatrice a fait un accompagnement léger des enseignants. Par exemple, lorsque les enseignants étaient débordés dans la classe pour homologuer les défis électriques accomplis par les élèves, elle homologuait aussi. Il est arrivé que les enseignants fassent appel à la chercheure-formatrice directement, pendant la période filmée, pour s'assurer de la précision d'un terme à employer, par exemple. Autrement, la chercheure-formatrice ne prenait pas d'initiative et laissait l'enseignant vivre sa planification à sa guise.

4.1.10 Entrevue 1 et questionnaire préformation (groupe 2)

Tout comme les enseignants du groupe 1, chaque enseignant du groupe 2 a été rencontré individuellement avant le début de sa formation afin de réaliser l'entrevue 1 et de recevoir le questionnaire préformation à remplir avant la première demi-journée de formation. Les enseignants ont eu environ deux semaines pour le compléter. Les dix enseignants de ce groupe ont participé aux entrevues et neuf enseignants ont pu remettre leur questionnaire préformation. L'autre enseignant a égaré son questionnaire et une fois la formation débutée, nous ne lui avons pas demandé de remplir à nouveau un questionnaire étant donné que certains concepts sont abordés dès la première demi-journée de formation.

4.1.11 Mise à l'essai empirique de la formation (groupe 2)

Le groupe 2, composé de dix enseignants, a vécu la formation telle que planifiée après la deuxième mise au point. Cette mise à l'essai empirique avec le groupe 2 s'est déroulée de façon presque conforme à la formation planifiée. En effet, seul le temps réel a été différent du temps prévu. Par exemple, certaines activités ont pris beaucoup plus de temps que prévu, car les enseignants effectuaient consciencieusement les expérimentations et participaient activement aux discussions. Ainsi, les enseignants du groupe 2 ont eu un peu moins de temps que prévu pour planifier leur propre séquence d'enseignement. Les changements survenus entre la formation telle que planifiée après la deuxième mise au point et le déroulement vécu lors de la mise à l'essai empirique (groupe 2) se trouvent dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4
Changements survenus entre la formation planifiée après la deuxième mise au point et le déroulement vécu lors de la mise à l'essai empirique (groupe 2)

Demi-journées	Changements survenus	
1		- Déroulement comme prévu.
2	Modifications	<ul style="list-style-type: none"> - L'activité 2.2 sur les défis A et B et sur le conflit sociocognitif a pris plus de temps que prévu et s'est terminée après la pause. - L'activité 2.3 d'analyse de schémas et d'images (vrais ou faux) a pris une heure au lieu de quarante-cinq minutes. - L'activité 2.4 d'analyse et de comparaison de circuits a pris plus de temps que prévu et n'a pas été complétée; les expérimentations n'ont pas été terminées et les analogies n'ont pas été abordées.
	Ajout	- Des enseignants employaient à tort le concept d'énergie dans leurs interprétations alors ce concept fut abordé (le transfert d'énergie).
3	Modifications	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune démonstration n'a été effectuée dans l'activité 3.2; les schémas et images ainsi que la discussion ont suffi à la compréhension. - L'activité 3.3 du projet a à peine été entamée, le temps a été plus long que prévu pour les activités antérieures. Seuls les consignes, le cahier de traces et la grille d'évaluation ont pu être présentés.

	Ajout	- L'activité 2.3 a été terminée (expérimentations des comparaisons et analogies) et en démonstration, des mesures quantitatives ont été prises dans certains montages.
	Retrait	- La carte conceptuelle n'a pas été effectuée et a été reportée à la quatrième rencontre.
4	Modification	- Un lexique des concepts en électricité et un document avec les symboles sont des documents ajoutés à l'activité 4.3 portant sur la théorie.
	Ajouts	- La carte conceptuelle a été réalisée au début de cette rencontre. - L'activité 3.3. du projet a eu lieu à la suite de l'activité de la carte conceptuelle. Cette activité a duré plus d'une heure.
	Retrait	- La planification n'a pas pu être débutée, par manque de temps.
5		- Déroulement comme prévu.
6	Modification	- Il restait trop peu de temps pour l'activité 6.4 portant sur la synthèse. Elle a dû être abandonnée.

4.1.12 Captations vidéo dans les classes des enseignants du groupe 2

Les captations vidéo dans les salles de classe des enseignants du groupe 2 se sont déroulées de la même façon que dans le groupe 1.

4.1.13 Entretien de groupe (groupe 1, puis groupe 2)

Un entretien de groupe a été mené dans chacun des groupes quelques semaines après la 5^e demi-journée de formation. Avant l'entretien de groupe, un petit colloque était organisé. Pendant ce mini-colloque, chaque enseignant a présenté le récit du déroulement de la séquence d'enseignement avec ses élèves. Cette activité, partie prenante de la formation et concluant le volet formation, visait une période d'échanges et de collaboration entre les enseignants. Elle avait également pour objectif de leur donner

confiance en leur permettant de réaliser qu'ils vivaient des réussites, des doutes et des difficultés similaires. De plus, les faire verbaliser sur le déroulement de leur séquence avec leurs élèves permettait de les rendre disponibles pour l'entretien de groupe, qui était un peu plus détaché de leur vécu en classe et plus centré sur le vécu de la mise à l'essai empirique de la formation à laquelle ils ont participé.

Les enseignants du groupe 1 ont été plus généreux et volubiles dans leurs réponses que ceux du groupe 2, qui se sont prêtés de bonne foi à l'exercice sans toutefois être très loquaces. À la fin de l'entretien de groupe, chaque enseignant a été invité à inscrire sur une feuille s'il recommanderait cette formation à des collègues, et à écrire quelques mots sur la formatrice ainsi que tout autre commentaire qu'il aurait été gêné de dire à haute voix pendant l'entretien de groupe. Ils ont quitté la rencontre avec le questionnaire postformation en mains. Ils devaient le remettre complété lors de l'entrevue 2, environ un mois plus tard.

4.1.14 Entrevue 2 et questionnaire postformation (groupes 1 et 2)

L'entrevue 2 a eu lieu environ un mois après l'entretien de groupe, selon les disponibilités des enseignants. Le questionnaire postformation était recueilli lors de cette rencontre. L'ensemble des enseignants des deux groupes ont participé à ce moment de la collecte de données.

4.1.15 Analyse *a posteriori*

Lors de l'analyse *a posteriori*, un retour a été effectué sur les hypothèses *a priori* afin de constater si les apprentissages visés en électricité et sur les pratiques favorisant le CC ont été réalisés. Cette analyse des résultats est issue des données recueillies lors des entrevues, des questionnaires, des captations vidéo et des entretiens de groupe. Chaque hypothèse *a priori* a été évaluée selon les données recueillies et commentée systématiquement. Cette analyse a permis de poser un regard critique sur la formation dans le but de l'améliorer pour la mise au point finale. L'analyse *a posteriori* se trouve donc dans le présent chapitre de la thèse, dans la section 4.3.

4.1.16 Mise au point finale de la formation

À partir des résultats des mises à l'essai empiriques et des conclusions de l'analyse *a posteriori*, la formation a été rédigée pour sa mise au point finale dans le cadre de cette recherche développement. Le document de la planification de la formation telle que planifiée après la mise au point finale se trouve en appendice A. Les modifications découlant des résultats recueillis à la suite des mises à l'essai empiriques seront présentées et justifiées au cours du présent chapitre. Une synthèse des modifications à apporter pour la mise au point finale sera détaillée dans la section 4.5.

4.1.17 Conclusion sur le déroulement des mises à l'essai, des mises au point ainsi que de la collecte des données

En somme, le déroulement s'est passé à quelques détails près comme prévu. Il y a eu un léger chevauchement des deux mises à l'essai, mais le vécu de la première mise à l'essai a tout de même permis une mise au point de la formation destinée au groupe 2. L'opérationnalisation du développement a suivi son cours et toutes les données prévues ont été recueillies.

4.2 Portrait des caractéristiques des enseignants et de leur enseignement des sciences (OS1)

Cette section présente les caractéristiques des enseignants qui ont participé aux mises à l'essai du dispositif de formation et dresse un portrait de leur enseignement des sciences. Ces résultats sont en lien avec l'objectif *Établir le portrait des caractéristiques et de la situation de l'enseignement des sciences telle que vécue par les enseignants du primaire participant (expérience des enseignants, formation antérieure en sciences (initiale et continue), temps alloué à l'enseignement des sciences chaque semaine, confort face à l'enseignement des sciences et pratiques d'enseignement employées)* (OS1). Ces traits seront présentés de façon synthétique et sont tirés des déclarations recueillies lors de l'entrevue précédant la formation. L'attention sera portée sur les caractéristiques convergentes ainsi que sur les éléments atypiques ou divergents des enseignants des deux groupes. Certaines de ces caractéristiques seront comparées au portrait des enseignants et

de leur enseignement des sciences élaboré à partir des écrits scientifiques consultés pour rédiger la problématique. Le tableau 4.5 contient une synthèse détaillée des caractéristiques des enseignants et de leur enseignement des sciences.

Tableau 4.5
Portrait des caractéristiques des enseignants qui ont participé aux mises à l'essai
et de leur enseignement des sciences

	Groupe 1	Groupe 2
Sujets	7 femmes	9 femmes 1 homme
Expérience au primaire	Moyenne : 12,9 ans Écart : de 5 ans à 28 ans	Moyenne : 9,4 ans Écart : de 3 ans à 18 ans
Expérience au troisième cycle	Moyenne : 8 ans Écart : de 1 an à 16 ans	Moyenne : 5,9 ans Écart : de 1 an à 14 ans
Nature du poste occupé au primaire	Titulaires (3); Titulaires et spécialistes des sciences pour le troisième cycle (2); Enseignantes qui ont des pourcentages de tâches dans plusieurs groupes (2).	Titulaires (8); Titulaires et spécialistes des sciences pour le troisième cycle (2).
Ordre d'enseignement du dernier cours en sciences dans la scolarité	Baccalauréat (5); Cours du soir à l'université après le baccalauréat (1); Cégep (1).	Baccalauréat (6); Cours du soir à l'université après le baccalauréat (1); Cégep (1); Lycée en France (1); Secondaire (1).
Formation continue en sciences (autre qu'universitaire)	Aucune formation continue (1) Une formation ou plus à la commission scolaire (5) Participation à un colloque ou un congrès (2)	Aucune formation continue (7); Une formation à la commission scolaire (1); Participation à une formation à un endroit non précisé (1); Participation à un groupe de co-développement (1).
Leurs forces déclarées	Déclarent maîtriser les volets scientifiques qu'ils enseignent (2); Déclarent intéresser les élèves avec les projets (5); Déclare partir des connaissances des élèves (1); Déclarent faire manipuler les élèves (2).	Déclare maîtriser les volets scientifiques qu'il enseigne (1); Déclarent susciter l'intérêt (3); Déclarent être confortables avec la démarche (3); Déclarent être organisées (2); Déclare bien faire discuter les élèves (1); Déclare créer des conflits cognitifs par l'expérimentation (1); Déclare être confortable avec les TIC (1).

	Groupe 1 (suite)	Groupe 2 (suite)
Leurs défis, leurs manques ou leurs faiblesses déclarés	Mentionnent le manque de connaissances en sciences (4); Déclarent un manque de matériel (3); Déplorent sa difficulté d'évaluer les compétences en <i>Science et technologie</i> (1); Sont inconfortables avec la démarche (2); Aimerait faire plus d'activités courtes mais riches (1); Aimerait jumeler les mathématiques et les sciences (1).	Mentionnent le manque de connaissances (8); Déclarent un manque de matériel (2); Déplorent sa difficulté d'évaluer les compétences en <i>Science et technologie</i> (1); Aimerait être meilleur pour organiser son temps (1); Voudrait faire plus de manipulations (1); Souligne la difficulté de communiquer les notions aux allophones (1).
Types d'activités en sciences	Mentionnent des activités d'observation (4); Mentionnent des activités avec manipulation (4).	Mentionnent des activités avec manipulation (7); Mentionnent des activités de lecture ou de recherche (3).
Temps alloué aux sciences	En moyenne une heure par semaine (6); Régulièrement de façon intensive, selon les projets (1).	En moyenne une heure par semaine (7); Moins d'une heure par semaine (3).
Niveau de confiance pour l'enseignement des sciences en général	Ils ont généralement confiance. La moyenne des cotes des cinq enseignants qui s'en ont attribué une est 6,3/10.	Ils ont généralement confiance. La moyenne des cotes des neuf enseignants qui s'en ont attribué une est 6,8/10.
Niveau de confiance pour l'enseignement de l'électricité	Ils disent avoir un niveau de confiance plus faible en électricité que pour l'enseignement des sciences en général. Moyenne des cotes non disponible, réponses essentiellement qualitatives.	Ils ont un niveau de confiance plus faible que pour l'enseignement des sciences en général. En moyenne : 2,7/10.

4.2.1 Convergence des deux groupes

Les deux groupes sont à peu près équivalents pour plusieurs caractéristiques. Les sept femmes du groupe 1 enseignent au primaire depuis 12,9 ans en moyenne, et les neuf femmes et l'homme du groupe 2, depuis 9,4 ans en moyenne. Les enseignants des deux groupes ont pour la plupart suivi un cours de didactique des sciences lors de leur baccalauréat, ce qui correspond au portrait général qui est rapporté dans les écrits

scientifiques (Gauthier et Gaudreau, 2010; Martin et al., 2008; OCDE, 2007). Dans les deux groupes, le manque de connaissances scientifiques est la difficulté déclarée le plus fréquemment et le manque de matériel est la deuxième difficulté la plus mentionnée. En ce qui a trait au niveau de confiance, les enseignants ont des niveaux similaires pour l'enseignement des sciences en général (en moyenne 6,3/10 dans le groupe 1 et 6,8/10 dans le groupe 2). Avant la formation, les enseignants disent avoir un niveau de confiance relativement bon pour l'enseignement des sciences, ce qui semble mieux que ce que présente l'étude de Martin et al. (2004). Il n'est cependant pas nécessairement aussi bon qu'il le serait pour une autre matière scolaire, comme l'explicitent les sujets 1 et 14. Certains précisent que leur niveau de confiance à propos de l'enseignement est bon puisqu'ils se l'attribuent pour les notions qu'ils connaissent ou qu'ils préparent pour l'enseignement des sciences; ils ne se l'attribuent pas pour l'ensemble des contenus scientifiques. Cela peut expliquer la raison pour laquelle ils se sentent à la fois relativement confortables avec l'enseignement des sciences en général tout en déclarant que leur plus grande faiblesse est la connaissance des contenus scientifiques.

Pour l'enseignement de l'électricité en particulier, la grande majorité des enseignants des deux groupes déclarent un niveau de confiance plus faible que pour l'enseignement des sciences en général. Par exemple, le sujet 6 a dit qu'il se sent débutant. Dans le groupe 2, les enseignants ont donné une cote sur dix dont la moyenne est de seulement 2,7/10. Seul le sujet 14 s'attribue une cote de 8-9/10; tous les autres se sont donnés des cotes variant de 0 à 5 sur 10 pour leur niveau de confiance quant à l'enseignement de l'électricité. Cet inconfort avec l'enseignement de l'électricité correspond à celui, faible également, rapporté par Martin et ses collègues (2004), Schoon et Boone (1998) et Webb (1992).

4.2.2 Divergence des deux groupes

Les groupes se distinguent toutefois sur quelques plans. Ces deux groupes étaient issus de deux régions différentes. Quant à la formation continue, sept enseignants du groupe 2 n'ont jamais suivi de formation continue sur l'enseignement des sciences, tandis que six des sept enseignants du groupe 1 en ont suivi. Les enseignants du groupe 2 s'apparentent ainsi au portrait dressé dans les écrits scientifiques (MELS, 2006; Martin et al., 2008). Malgré cette grande absence de formation continue dans le groupe 2, deux des enseignants de ce groupe sont à la fois titulaires d'une classe au troisième cycle et spécialistes des sciences et technologies pour l'ensemble des classes du troisième cycle. Ce type de poste de « spécialiste des sciences » est également occupé par quatre enseignants du groupe 1. Les écrits consultés n'ont pas répertorié ce type de répartition des tâches qui permet de dégager un spécialiste des sciences; ils ne permettent pas de savoir si ce fonctionnement est répandu au Québec. Une disparité existe entre les deux groupes par rapport à la nature du poste occupé : tous les enseignants du groupe 2 sont titulaires de leur propre classe tandis que dans le groupe 1, deux enseignantes ont des fractions de tâches dans différents groupes de leur école tout en étant spécialistes des sciences pour chacun des groupes auxquels elles enseignent.

En ce qui a trait aux forces déclarées, celles des enseignants du groupe 2 sont plus diversifiées et plus en lien avec des facettes de l'enseignement des sciences que celle du groupe 1 où la sphère affective prime. En effet, les enseignants du groupe 1 mentionnent majoritairement leur habileté à intéresser et à motiver les élèves lors de l'enseignement des sciences, tandis que ceux du groupe 2 déclarent en plus qu'ils sont confortables avec la démarche scientifique ou qu'ils sont bien organisés. D'ailleurs, les enseignants des deux groupes ne vivent pas des activités équivalentes en sciences. À cet égard, la plupart (7) des enseignants du groupe 2 déclarent proposer des résolutions de problème impliquant des manipulations tandis que seuls certains (4) des enseignants du groupe 1 déclarent faire manipuler leurs élèves, mais

en donnant un cours théorique avant les manipulations, ce qui ne correspond pas nécessairement aux caractéristiques d'une résolution de problème. Ce type d'expérimentation qui ne considère et ne stimule pas nécessairement le questionnement des élèves a aussi été décrit par Gauthier et ses collègues (2007) et par Minier et Gauthier (2006). De plus, toujours dans le groupe 1, quatre enseignants ont mentionné faire vivre des activités d'observation et de classification, des types d'activités également rapportés par d'autres chercheurs (Appleton, 2007; CST, 2002; Martin et al., 2008; Martin et al., 2004; Thouin, 2009). Or, sept enseignants du groupe 2 ont déclaré proposer des activités de résolution de problème comportant des expérimentations ou des conceptions techniques. Trois enseignants du groupe 2 ont également témoigné faire faire des recherches et des lectures en sciences avec leurs élèves, des activités de vulgarisation scientifiques, ce qui correspond à l'activité que les élèves du Québec déclarent le plus réaliser en sciences selon l'étude de Martin et ses collègues (2008). Ces trois enseignants du groupe 2 et la majorité des enseignants du groupe 1 font des activités qui ressemblent à ce qu'on trouve dans les écrits scientifiques consultés pour la problématique.

Finalement, la totalité des enseignants du groupe 1 et sept enseignants du groupe 2 consacrent au moins une heure par semaine à l'enseignement des sciences. Par contre, trois enseignants du groupe 2 enseignent les sciences seulement une à trois fois par mois. Certains enseignants du groupe 2 enseignent donc très peu les sciences, ce qui correspond au portrait des enseignants du primaire dressé dans la problématique (MELS, 2006).

4.2.3 Conclusion à l'égard du portrait des caractéristiques des enseignants et de leur enseignement des sciences

En conclusion, ces deux groupes sont comparables malgré les quelques divergences mentionnées. En effet, leurs déclarations convergent notamment pour un très faible niveau de confiance par rapport à l'enseignement de l'électricité, un manque de connaissances en sciences et un intérêt moyen envers les sciences. De plus, il est pertinent de constater que

certaines enseignants collent plus que d'autres au portrait plutôt pessimiste de l'enseignement des sciences dressé dans la problématique. Le portrait des caractéristiques des enseignants tel qu'ils l'ont déclaré avant la formation est moins dramatique que celui dressé dans la problématique, mais le problème majeur du manque de connaissances en sciences ainsi que leur inconfort quant à l'enseignement de l'électricité sont deux éléments fortement présents et selon eux problématiques. À cet égard, la formation apparaît donc répondre à un besoin réel des enseignants des deux groupes.

4.3 Analyse *a posteriori* des apprentissages des enseignants par rapport aux concepts en électricité, aux pratiques d'enseignement favorisant le CC et aux pratiques d'enseignement particulières à l'enseignement de l'électricité (OS2)

Cette section concerne les apprentissages que les enseignants ont réalisés ainsi qu'un portrait de leur pratique d'enseignement. Ces résultats relèvent de l'objectif *Mettre à l'essai le dispositif de formation afin d'évaluer si les enseignants réalisent les apprentissages visés en électricité et s'ils utilisent et déclarent désormais utiliser les pratiques favorisant le CC* (OS2). Les données proviennent des questionnaires préformation et postformation, des entrevues 1 et 2, des planifications écrites des enseignants, des captations vidéo effectuées en classe et des entretiens de groupe. Le retour sur les hypothèses *a priori* sera effectué selon les deux grands thèmes visés. La section 4.3.1 porte sur les hypothèses *a priori* des apprentissages visés en électricité et la section 4.3.2 porte sur celles concernant les pratiques favorisant le CC ainsi que l'apprentissage de l'électricité.

4.3.1 Apprentissages relatifs aux concepts en électricité réalisés par les enseignants (OS2)

Dans cette section sur les hypothèses *a priori* portant sur les apprentissages des concepts en électricité, les résultats seront présentés de deux façons; par concept, selon les résultats de chaque groupe avant et après la formation, puis par sujet, pour présenter le progrès de chacun des enseignants. Dans le tableau 4.6, l'association de chaque hypothèse *a priori* avec les questions et le contexte des concepts en électricité qui lui correspondent est indiquée.

Tableau 4.6
Les correspondances entre les hypothèses *a priori*, les numéros de question du questionnaire et le contexte de la question

Hypothèses <i>a priori</i>	Numéro(s) de question	Contexte de la question
Ils comprendront qu'un circuit simple en courant continu doit être fermé et qu'on l'analyse comme un tout.	1, 2, 9, 10 14	Circuit fermé Circuit en série
Ils comprendront que le courant ne diminue pas en parcourant un circuit.	3 5	Circuit en série Circuit mixte
Ils comprendront que le courant correspond à des électrons qui circulent dans un sens.	15	Courant électrique
Ils comprendront qu'une ampoule loin ou près de la pile aura la même intensité.	3 4	Circuit en série Circuit en parallèle
Ils comprendront la notion de court-circuit.	6 9	Court-circuit Circuit fermé
Ils apprendront qu'il y a deux façons de brancher les composantes d'un circuit : en série et en parallèle.	3, 4, 11 14	Circuit en parallèle Circuit en série
Ils distingueront les notions de tension, de courant et de résistance :	12	Relation entre la tension et le courant
I. que le courant est influencé par la tension et la résistance dans le circuit.	13	Rôle des fils, de la pile et de l'ampoule
II. que les électrons bougent dans le circuit à cause de la pile.	15	Courant électrique
Ils apprendront à représenter et reconnaître des schémas de circuits.	7 8	Transcription de dessin à schéma Transcription de schéma à dessin

À la fin de cette section, un retour sur ce tableau permettra de dire si les apprentissages visés dans les hypothèses *a priori* sont atteints ou non.

4.3.1.1 Les résultats des apprentissages en électricité, par concept

Dans le tableau 4.7, pour chaque concept en électricité abordé pendant la formation, les questions correspondantes sont indiquées ainsi que le nombre d'enseignants de

chaque groupe qui ont réussi la question dans le questionnaire préformation et dans le questionnaire postformation.

Tableau 4.7
Réponses réussies par les enseignants de chaque groupe dans les questionnaires
préformation et postformation, par concept et question

Concepts	Questions	Groupe 1 – pré.	Groupe 1 – post.	Groupe 2 – pré.	Groupe 2* – post. ⁹
Circuit fermé	1	3/7	7/7	5/9	10/10
	2	5/7	6/7	5/9	8/10
	9	4/7	6/7	0/9	7/10
	10	6/7	7/7	7/9	10/10
Circuit en série	3	3/7	6/7	9/9	10/10
	14	6/7	6/7	8/9	10/10
Circuit en parallèle	4	5/7	6/7	5/9	9/10
	11	4/7	7/7	6/9	9/10
Circuit mixte	5	2/7	6/7	3/9	9/10
Transcription de dessin à schéma	7	3/7	7/7	6/9	10/10
Transcription de schéma à dessin	8	4/7	4/7	1/9	4/10
Relation entre tension et courant	12	4/7	3/7	5/9	4/10
Courant électrique	15	2/7	2/7	3/9	7/10
Rôle des fils	13	4/7	5/7	7/9	8/10
Rôle de la pile	13	0/7	0/7	0/9	5/10
Rôle de l'ampoule	13	6/7	5/7	6/9	8/10
Court-circuit	6	0/7	0/7	2/9	3/10

Légende :

Groupe 1 :	0 1 2	3 4 5	6 7
Groupe 2 :	0 1 2	3 4 5 6	7 8 9
Groupe 2* :	0 1 2 3	4 5 6 7	8 9 10

⁹ Un enseignant du groupe 2 n'avait pas remis son questionnaire préformation, ce qui explique qu'il y ait 9 sujets qui sont comptabilisés pour le questionnaire préformation et dix pour le questionnaire postformation.

On voit que les groupes 1 et 2 ont des niveaux de réussite relativement similaires pour plusieurs concepts du questionnaire préformation, et moins similaires après la formation. Le faible taux de bonnes réponses au questionnaire préformation témoigne de la présence de conceptions initiales fréquentes en désaccord avec les concepts scientifiques. En ce sens, les enseignants participants ressemblent à ceux décrits dans la problématique (Afra et al., 2009; Liégeois et Mullet, 2002). Il sera expliqué plus loin que les améliorations apportées à la formation mise à l'essai (2) avec le groupe 2 ont pu favoriser certains apprentissages chez les sujets du groupe 2. Dans les paragraphes qui suivent, quelques remarques permettent d'interpréter le tableau 4.7 et de suggérer des pistes d'amélioration ainsi que les points importants à conserver pour la mise au point finale de la formation.

Notion de circuit fermé

Chez les quelques enseignants qui n'ont pas réussi la question 2 dans le questionnaire postformation (voir la figure 4.2), le mode de raisonnement séquentiel est parfois encore présent, une conception fréquente selon Engelhardt et Beichner (2004) ainsi que Sencar et Eryilmaz (2004). Demander des explications qualitatives du circuit lors des retours des activités de manipulations doit rester dans la formation, en insistant et en explicitant davantage le concept de circuit comme un tout. Également, l'emploi de plusieurs interrupteurs dans un même circuit semble permettre aux enseignants de consolider le rôle des interrupteurs dans le circuit ainsi que les branches du circuit sur lesquelles ils ont une fonction.

2. Sur quel(s) interrupteur(s) faut-il appuyer pour faire allumer l'ampoule ?

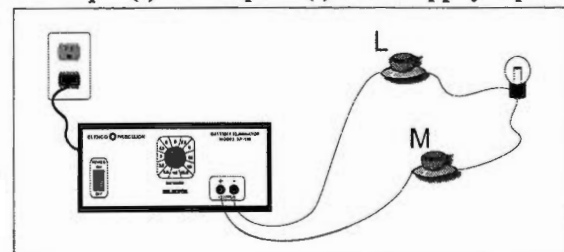


Figure 4.2

Extrait de la question 2 du questionnaire

Les sujets qui ont réussi la question 9 (voir la figure 4.3) ont intégré le concept de circuit fermé et la façon de brancher l'entrée et la sortie, soit le plot et le culot (ou vice versa) de l'ampoule afin qu'elle allume. Toutefois, comme ce concept n'est pas acquis chez tous les sujets, il importera de prévoir des rappels réguliers du plot et du culot de l'ampoule et de retravailler avec des ampoules sans support tout au long de la formation et non seulement au tout début. Par la suite, la base est camouflée par le support à ampoule, mais la notion d'entrée et de sortie doit être réutilisée lors d'activités suivantes chez les enseignants.

9. Est-ce que toutes les ampoules ont la même intensité lumineuse ?

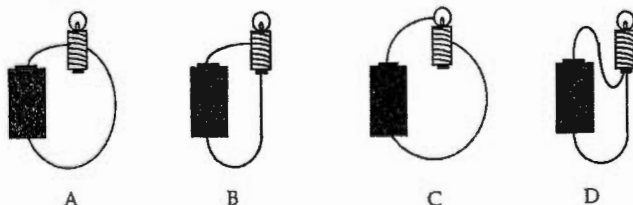


Figure 4.3

Extrait de la question 9 du questionnaire

Pour la mise au point finale de la formation – circuit fermé

Dans le cadre de la mise au point finale de la formation, il importe donc de continuer à utiliser des interrupteurs et d'employer ponctuellement des ampoules sans support

pour que les enseignants gardent en tête l'importance des contacts avec le plot et le culot de l'ampoule.

Circuit en série

Il semble que les enseignants soient dans l'ensemble capables de prédire ce qui se passe dans un circuit en série, et souvent, ils sont même capables de le justifier en employant les expressions appropriées en électricité. Après la formation, six enseignants du groupe 1 et l'ensemble des enseignants du groupe 2 ont réussi les questions qui concernent le circuit en série.

Pour la mise au point finale de la formation – circuit en série

Ainsi, les diverses activités qui abordent ce concept lors de la formation, soit les défis, les « vrais ou faux » ainsi que les activités de comparaison (effectuées avec le groupe 2) permettent une bonne appropriation du circuit en série.

Circuit en parallèle

Au questionnaire postformation, la presque totalité des enseignants des deux groupes ont réussi les questions dont le contexte était le circuit en parallèle. Le circuit en parallèle semble avoir été compris par les enseignants dans une situation simple, c'est-à-dire lorsque les résistances du circuit sont égales.

Pour la mise au point finale de la formation – circuit en parallèle

L'emploi de résistances non identiques pourrait possiblement représenter un défi pour certains sujets. Un défi ou une prédiction au sujet d'un circuit en parallèle où les ampoules ne sont pas identiques et placées dans un circuit en parallèle pourrait être proposé pour pousser plus loin la formation ou pour proposer un enrichissement aux enseignants plus avancés. Également, l'idée selon laquelle une résistance équivalente est plus faible lors de l'ajout d'une résistance sur une branche et le courant plus fort aux bornes de la pile sont également des concepts qui pourraient être abordés et

creusés éventuellement par les enseignants plus confortables avec la notion du circuit en parallèle.

Circuit mixte

Les enseignants ont pour la plupart apparemment bien compris quelle intensité aurait chaque ampoule du circuit mixte de la question 5 (voir la figure 4.4) et plusieurs ont même une compréhension qualitative juste et fine pour expliquer leur prédiction. Une minorité d'enseignants avaient réussi cette question au questionnaire préformation. Ils ont donc manifestement progressé en ce sens.

5. Sachant que les ampoules X, Y et Z sont tout-à-fait identiques, dites laquelle des trois est celle qui allumera le moins fort (ou pas du tout).

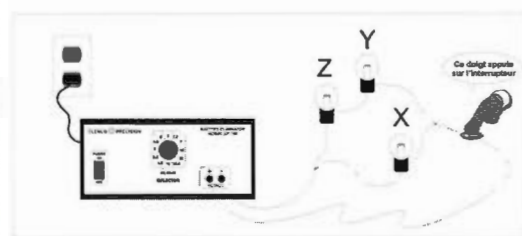


Figure 4.4
Extrait de la question 5 du questionnaire

Pour la mise au point finale de la formation – circuit mixte

Selon les données de la question 5, la formation apparaît appropriée à l'acquisition de ce concept. Il ne semble pas nécessaire de pousser plus loin cette notion étant donné que les circuits mixtes ne sont pas au programme au primaire; cette notion sert à approfondir les apprentissages des enseignants et augmenter leur zone de confort dans le champ de l'électricité.

Transcription de dessin à schéma

Au questionnaire postformation, tous les sujets des deux groupes ont réussi la question 7 (voir la figure 4.5) en associant le bon schéma au montage dessiné. Ils ont

tous indiqué des niveaux de confiance de 4 ou 5 tant pour la réponse que pour la justification de leur réponse.

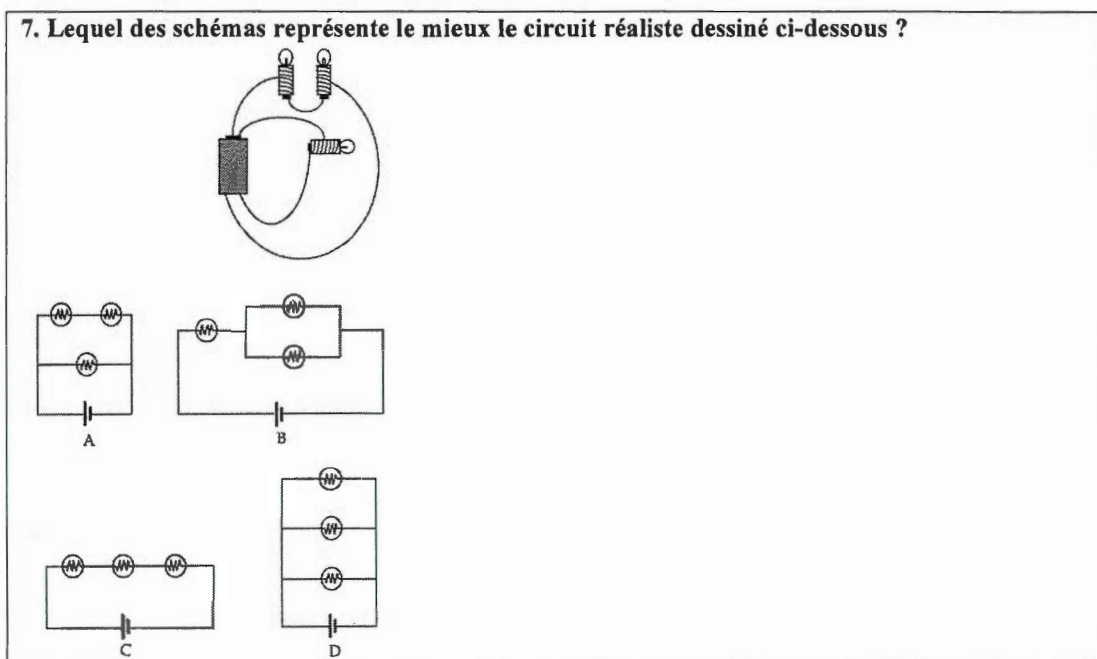


Figure 4.5
Extrait de la question 7 du questionnaire

Pour la mise au point finale de la formation – transcription de dessin à schéma

Les défis incitent les enseignants à tracer de nombreux schémas à partir des montages; il faut donc continuer à exiger les schémas lors de la réalisation des défis.

Transcription de schéma à dessin

À la question 9, dans les deux groupes, les quelques enseignants qui ont échoué cette question ont choisi un dessin où le plot et le culot de l'ampoule étaient mal connectés. Leur réponse, erronée, était en fait un circuit où une ampoule était court-circuitée.

À la question 8 (voir la figure 4.6), au questionnaire postformation, les réponses des enseignants montrent qu'ils voient bien la disposition des ampoules en série, mais qu'ils ne considèrent pas nécessairement l'importance de la représentation du contact

avec le plot et le culot de chaque ampoule. Seuls quatre enseignants de chaque groupe ont réussi cette question après la formation.

8. Quel(s) dessin(s) de circuit(s) réaliste(s) corresponde(nt) au schéma ci-dessous ?

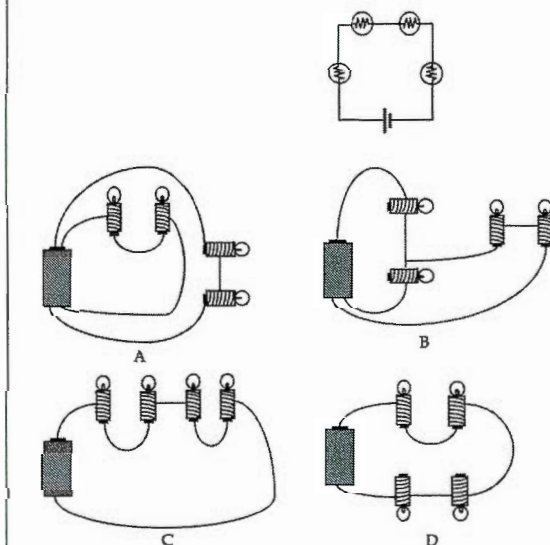


Figure 4.6
Extrait de la question 8 du questionnaire

Pour la mise au point finale de la formation – transcription de schéma à dessin

Comme il fut mentionné précédemment, il importerait donc de continuer à parler explicitement du contact avec le plot et le culot des ampoules pendant toute la formation pour éviter les erreurs de transcription d'un schéma à un dessin. Il pourrait être tout aussi pertinent de faire occasionnellement manipuler les ampoules sans support à ampoule, et non seulement lors de la première séance pendant laquelle on voit les parties de l'ampoule et lors de laquelle on manipule des ampoules sans support à ampoule. Également, la notion d'ampoule court-circuitée devrait être explicitement vue dans le contexte où elle est insérée dans un circuit seulement via le plot ou seulement via le culot.

Court-circuit

Le niveau de confiance a augmenté entre le questionnaire préformation et le questionnaire postformation pour la question 6 (voir la figure 4.7) dans laquelle une des deux ampoules est court-circuitée et ce, même si les sujets n'ont pas très bien réussi cette question. Aucun sujet du groupe 1 et trois du groupe 2 l'ont réussie dans le questionnaire postformation. Certains enseignants ont toutefois annoté leur questionnaire postformation à côté du schéma de la question 6. Par exemple, le sujet 1 a écrit : « Je suis embêtée » et le sujet 2 a écrit : « Court-circuit? », mais a tout de même échoué la question. Ils ont exprimé que quelque chose leur échappait. Pendant la formation, le court-circuit vu et discuté dans les exercices était celui, simple, d'un montage avec une seule ampoule qui n'allumait pas à cause d'un fil supplémentaire qui créait un court-circuit. Lors de la formation, les enseignants comprenaient le court-circuit dans ce contexte. Toutefois, le transfert de la notion de court-circuit n'a pas été effectué pour d'autres contextes, alors la question 6 avec deux ampoules dont une court-circuitée a été difficile et généralement échouée.

6. Comparez l'intensité lumineuse des ampoules 1 et 2 dans ce circuit. Quelle ampoule est la plus intensément allumée ?

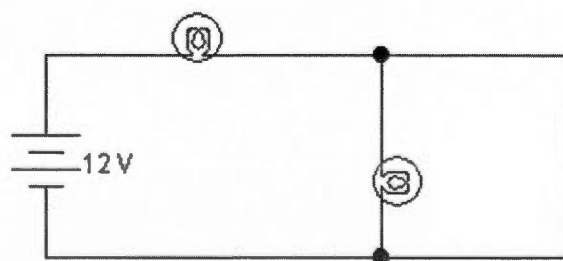


Figure 4.7
Extrait de la question 6 du questionnaire

Les enseignants qui n'ont pas réussi peuvent avoir la conception fréquente du court-circuit selon laquelle il y a un fil de trop qui n'affecte pas le circuit, une conception

relevée également par Sencar et Eryilmaz (2004). Toutefois, certaines annotations des enseignants dans le questionnaire laissent croire qu'ils ont possiblement eu trop de variables à considérer en même temps et qu'ils n'ont pas réussi à voir le circuit comme un tout, une raison invoquée par Shaffer et McDermott (1992) pour interpréter cette conception initiale inappropriée.

Pour la mise au point finale de la formation – court-circuit

Ainsi, pour la version améliorée de la formation, il faut insister et étudier davantage la présence du court-circuit dans différents contextes de montage, dont des montages avec deux ampoules initialement en série (comme dans la question 6) et avec deux ampoules initialement en parallèle (dans l'activité des images de circuit), par exemple.

De plus, la notion de court-circuit pourrait être abordée avec des montages tels ceux illustrés en *a* et *d* à la question 9 afin que les sujets y voient autant l'idée que le circuit est ouvert par rapport à l'ampoule que celle que le circuit est fermé puisqu'il y a un court-circuit via une partie conductrice de l'ampoule.

Relation entre la tension et le courant

Peu d'enseignants (trois dans le groupe 1 et quatre dans le groupe 2, après la formation) ont réussi la question ouverte sur la relation entre la tension et le courant. Ces données indiquent que spontanément, les enseignants ne réfléchissent pas nécessairement avec les concepts abstraits de la relation entre le courant et la tension lorsqu'ils répondent à cette question. En effet, parfois, dans leurs réponses, la relation entre la tension et l'intensité lumineuse semble implicite, ce qui est un progrès par rapport au questionnaire préformation. On ne peut leur attribuer une confusion de la relation entre le courant et la tension comme la décrivent plusieurs chercheurs (Afra et al., 2009; Clement et Steinberg, 2002; Engelhardt et Beichner, 2004), mais on ne peut affirmer avec certitude que cette relation est comprise auprès des enseignants

participants. Enfin, l'emploi du mot « énergie », pour englober de façon erronée les concepts de courant ou de tension, est une erreur courante, et ce particulièrement dans les réponses des enseignants du groupe 1. En effet, il est fréquent que les termes associés aux circuits électriques soient employés comme s'ils étaient interchangeables : « Students interchangeably use terms associated with circuits, often assigning the properties of current either to voltage, resistance, energy, or power » (Engelhardt et Beichner, 2004, p. 98).

Pour la mise au point finale de la formation – relation entre la tension et le courant

Le lien entre l'intensité du courant et l'intensité lumineuse ainsi que la relation entre le courant et la tension devront être davantage explicités dans la formation. Les réponses incitent également à aborder de façon directe la notion d'énergie, car certains enseignants semblent l'utiliser comme un concept fourre-tout en le confondant avec les autres concepts d'électricité.

Rôle des fils

Les données recueillies suggèrent que la bonne conception du rôle des fils en lien avec le transport du courant était déjà relativement présente dans plusieurs réponses dès le questionnaire préformation. La limite de la question du rôle des fils est que parfois, les réponses, peu détaillées, ne permettaient pas de savoir si les sujets avaient en tête que les électrons sont déjà présents dans les fils et qu'ils circulent quand le courant s'établit dans un circuit fermé. On ne peut donc pas juger de leur conception du courant selon les données de cette question.

Pour la mise au point finale de la formation – rôle des fils

Les enseignants connaissent le rôle des fils, le fait qu'ils transportent l'électricité. Malgré tout, l'idée que les électrons se trouvent déjà dans les fils, avant que le courant s'établisse, devrait être maintenue dans la formation pour éviter que les enseignants puissent penser que les fils sont « vides ».

Rôle de la pile

La réponse recherchée dans cette question ouverte était la tension, ou l'idée de la poussée de la pile dans le circuit, et non simplement la pile comme source d'énergie, même si cette réponse n'est pas erronée. On peut attribuer la différence entre les réponses des deux groupes (aucun enseignant du groupe 1 n'a réussi cette question tandis que cinq du groupe 2 l'ont réussie au questionnaire postformation) au fait que les activités de comparaison de circuits vécues par le groupe 2 (que le groupe 1 n'a pas vécues) auraient davantage porté fruit. Ces activités ont été des occasions d'explicitier qualitativement ce qui se passe dans un circuit en ce qui a trait au courant, aux résistances, à la tension, à l'intensité lumineuse et au type de circuit en jeu. Quelques sujets du groupe 2 ont malgré tout pensé en termes d'énergie plutôt qu'en termes de tension pour parler de la pile. Ces concepts gagneraient à être encore plus distingués.

Pour la mise au point finale de la formation – rôle de la pile

L'emploi spontané du concept d'énergie par plusieurs sujets renforce l'idée de devoir aborder ce concept de front afin qu'il soit bien distingué du courant, de la tension et de la résistance. De même, les activités de comparaisons doivent être conservées pour permettre aux enseignants de s'exprimer de façon qualitative, notamment sur la notion de tension. La répétition de l'emploi de ces concepts dans les activités de comparaison vécues par le groupe 2 semble en effet leur avoir été bénéfique.

Rôle de l'ampoule

Il y a peu de réponses erronées pour cette question ouverte (la question 13) sur le rôle de l'ampoule (la majorité des enseignants ont donné une réponse juste dès le questionnaire préformation). Dans le questionnaire postformation, on constate que certains ont pensé au concept de résistance et d'autres au concept d'énergie pour répondre. Dans le groupe 2, des ampoules de différentes tensions avaient été employées dans les activités de comparaisons ajoutées, ce qui a pu contribuer à la

compréhension de la résistance qui est intrinsèque au dispositif électrique qu'est l'ampoule. De plus, le concept d'énergie a davantage été abordé dans le groupe 2 que dans le groupe 1, alors il est moins étonnant de voir quelques réponses évoquant le transfert d'énergie dans les réponses de ce groupe.

Pour la mise au point finale de la formation – rôle de l'ampoule

Dans le cadre de la formation, le transfert d'énergie gagnerait à être maintenu, tout comme le concept de résistance qui varie d'un dispositif à l'autre, d'une ampoule à l'autre. Les activités de comparaison vécues par le groupe 2 sont certainement pertinentes à cet effet, mais une activité supplémentaire pour bien structurer les connaissances serait pertinente dans la version finale de la formation.

Courant

Après la formation, sept des dix sujets du groupe 2 ont donné une réponse complète à la question sur le courant tandis que seulement deux enseignants du groupe 1 l'ont réussie. Les sujets du deuxième groupe, qui utilisaient peu les éléments de définition du courant au questionnaire préformation, tout comme ceux du groupe 1, fournissent davantage des réponses qui comportent les éléments recherchés de la définition du courant (un déplacement, un flux d'électrons) en comparaison avec les sujets du groupe 1. Cette tendance de meilleure réussite du groupe 2 peut possiblement également être attribuée à un changement apporté à la formation entre la version testée avec le groupe 1 et celle testée avec le groupe 2. En effet, le groupe 1 a eu à faire des montages exploratoires avec une ou plusieurs piles, avec une ou plusieurs ampoules ainsi qu'avec un moteur et un dispositif sonore. Les enseignants devaient effectuer différents montages et interpréter qualitativement ce qu'il advenait de l'intensité du courant. Ces activités ouvertes et qualitatives avec trop de nouveau matériel les ont vraisemblablement rendus quelque peu confus. Un montage en particulier les a surpris et a créé une certaine confusion : en mettant en série une ampoule avec un moteur, ils ont constaté que le moteur tourne, mais que l'ampoule

ne s'allume pas. Ils se sont dits que le courant était consommé par le moteur et qu'il n'en restait plus assez pour l'ampoule. Cette analyse erronée du circuit correspond à la conception fréquente du courant qui faiblit, qui est consommé (Cepni et Keles, 2006; Sencar et Eryilmaz, 2004; Summers et al., 1998). Après des explications et des observations avec des mesures effectuées avec le voltmètre et l'ampèremètre, la situation a quelque peu été récupérée. Toutefois, dans le groupe 2, cette activité a été remplacée par l'activité de comparaison de montages où les enseignants devaient analyser les différences de l'intensité ou de la tension entre les deux montages. Ces activités plus orientées ont probablement contribué à la compréhension de la notion de courant étant donné qu'il en fut énormément question de façon qualitative et progressive dans cette nouvelle activité.

Pour la mise au point finale de la formation – courant

Lors de la mise au point finale de la formation, il importe de conserver les activités de comparaison de montages afin d'analyser qualitativement les concepts, dont le courant.

4.3.1.2 Le progrès de chaque enseignant pour les concepts en électricité

Dans cette section, le progrès de chaque enseignant ayant participé à une des mises à l'essai de la formation est présenté. Le tableau 4.8 donne un aperçu de la mesure de ce progrès et, à la suite du tableau, des commentaires qualitatifs expliquent le progrès de chaque sujet.

Tableau 4.8
Le progrès par sujet aux réponses attendues dans les questionnaires

Sujets	Circuit fermé	Circuit en série	Circuit en parallèle	Circuit mixte	Court-circuit	Transcription D-S	Transcription S-D	Relation tension-courant	Rôle pile	Rôle ampoule	Rôle fil	Courant
Groupe 1	S1	+	+	+	+	+	=X*	+	=	+	+	=X
	S2	+	+	+	+	=*	+	=X	+	+	=	=X
	S3	+	+	+	+	=*	-*	-	=	-	-	-
	S4	+	+	+	+	+	=*	=	=	+	=	+
	S5	=*	+	+	+	+	+	+	=	-	=	+
	S6	=*	+	+	+	+	-*	+	+	+	+	+
	S7	+	=X*	=*	=X	=*	=	=X	=	-	=	+
Groupe 2	S8	+	+	+	+	+	+	=	+	+	+	+
	S9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	+
	S10	+	+	+	+	+	=*	=	+	+	+	+
	S11	=*	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
	S12	=*	+	+	+	=*	+	+	=	=X	=	+
	S13	=*	+	+	+	+	=X*	+	+	=X	+	+
	S14	+	=*	=*	+	=*	+	=	+	=	=	=
	S15							s.o.				
	S16	+	+	=X*	=X	=	=X	=	-	=	=	+
	S17	+	+	=*	=X	=	=X	+	+	+	=	+

Légende :

- + : La réponse est meilleure après la formation; il y a un progrès vers une meilleure réponse, complète ou non.
- * : Le niveau de confiance a augmenté (données disponibles pour les sept premiers concepts du tableau).
- = : La réponse est similaire dans les deux questionnaires et elle est bonne ou presque complète.
- =X : La réponse est similaire dans les deux questionnaires et elle est mauvaise ou incomplète.
- : La réponse est meilleure ou plus complète avant la formation; il y a une régression.

Le tableau 4.8 montre le progrès de chaque sujet ayant participé à la formation. Ainsi, une réponse meilleure, mais pas tout à fait complète est considérée comme meilleure, ce qui explique la non-concordance entre le nombre de bonnes réponses compilées dans le tableau 4.7 et la somme des progrès ou des réponses similaires et bonnes ou presque complètes du tableau 4.8. Les lignes qui suivent résument le progrès de chaque sujet. À la fin de cette section, une synthèse par groupe puis une synthèse globale sont effectuées dans le but de revenir sur les apprentissages réalisés en électricité et sur les pistes d'amélioration à suivre pour la mise au point de la formation.

Le sujet 1 a progressé pour huit notions et a quatre réponses similaires entre le questionnaire préformation et le questionnaire postformation, dont trois erronées. Pour la transcription de schéma à dessin, l'erreur étant vraisemblablement due à la non-considération du contact au plot et au culot des ampoules. Dans les réponses à développement, ce sujet a beaucoup parlé d'énergie, pas toujours de façon juste. Par exemple, dans sa définition du courant, un remplacement du mot énergie par le mot électron donnerait une définition juste. Enfin, pour le concept du court-circuit, ce sujet a écrit « je suis embêtée » à côté du schéma dans le questionnaire, alors il y avait un doute et possiblement une petite évolution quant à ce concept. Son niveau de confiance a augmenté pour six notions, dont cinq avec raison, car les réponses étaient meilleures.

Le sujet 2 a progressé au sujet de six notions et a une compréhension similaire entre le questionnaire préformation et le questionnaire postformation pour sept notions. Il parle beaucoup d'énergie dans les questions à développement qui touchent le courant. Son niveau de confiance a augmenté pour six notions avec raison ainsi que pour le court-circuit, pourtant non diagnostiqué dans les deux questionnaires. Dans le second questionnaire, ce sujet avait toutefois écrit qu'il n'était pas sûr de bien comprendre le dessin, ce qui laisse supposer un doute.

Le sujet 3 a peu progressé entre questionnaire préformation, qui était généralement bon, et le questionnaire postformation. Il a même régressé pour cinq notions, a progressé pour trois et est resté stable pour quatre, dont une non comprise. Au questionnaire postformation, il a souvent utilisé la notion d'énergie comme concept « fourre-tout » dans les questions à développement, une attention n'a pas été accordée au plot et au culot des ampoules dans la transcription et le court-circuit n'a pas été diagnostiqué. Son niveau de confiance a augmenté pour deux notions qu'il maîtrisait déjà et pour la transcription de schéma à dessin, réussie au questionnaire préformation, mais échouée au questionnaire postformation.

Le sujet 4 avait déjà plusieurs bonnes réponses au questionnaire préformation et a progressé pour le circuit fermé, le circuit en série, le circuit en parallèle, la transcription de dessin à schéma, le rôle de l'ampoule et pour le rôle du courant. La notion de court-circuit n'a pas été réussie, indiquant que les deux ampoules allument, mais ce sujet a écrit « court-circuit » à côté du schéma dans le questionnaire postformation et a choisi la bonne raison. L'acquisition de ce concept était peut-être meilleure que dans le questionnaire préformation, mais pas encore entière. Son niveau de confiance a augmenté pour sept notions, dont le court-circuit pour lequel une augmentation du niveau de confiance n'était pas justifiée.

Le sujet 5 a six réponses similaires entre le questionnaire préformation et celui postformation. Il a progressé pour cinq notions, mais a régressé dans la réponse sur le rôle de l'ampoule. Il parle d'ailleurs beaucoup d'énergie pour expliquer les rôles des piles, des fils et des ampoules dans les deux questionnaires. Il a échoué la question du court-circuit, mais a écrit dans le questionnaire postformation que le schéma n'est pas clair, ce qui illustre qu'il a eu un doute quant à cette question, signe peut-être d'un début de compréhension. Son niveau de confiance a augmenté pour six notions, toujours avec raison.

Le sujet 6 a progressé pour neuf des notions, a écrit des réponses similaires pour deux, dont une acceptable, et a régressé pour une. Pour ce qui est de la régression, l'erreur de ne pas considérer le contact avec le plot et le culot des ampoules explique l'erreur de la transcription de schéma à dessin au questionnaire postformation. C'est la question du court-circuit qui n'a pas été comprise dans les deux questionnaires. Son niveau de confiance a augmenté pour cinq notions avec raison, et illégitimement pour la transcription de schéma à dessin ainsi que pour le court-circuit.

Le sujet 7 a seulement progressé au sujet du circuit fermé et du courant, a gardé neuf réponses similaires dont cinq erronées ou incomplètes, puis a une réponse qui a régressé pour une notion. Ce sujet a remis son questionnaire postformation en retard et a vécu des circonstances personnelles difficiles pendant et à la suite de la formation. Il a mal compris le circuit en série, ayant une conception du courant consommé, laquelle explique aussi l'échec de la question sur le circuit mixte. Dans les deux questionnaires, le court-circuit n'a pas été expliqué. Finalement, la réponse quant au rôle de l'ampoule était erronée dans le questionnaire postformation; il a dit que l'ampoule est source d'énergie. Le niveau de confiance a augmenté trois fois avec raison, deux fois de façon illégitime.

Le sujet 8 a progressé pour neuf notions et est resté stable pour trois notions déjà acquises. La notion de court-circuit était déjà réussie dans le questionnaire préformation, mais la raison formulée après la formation est meilleure. Le niveau de confiance a augmenté en toute légitimité pour l'ensemble des notions pour lesquelles il a été mesuré.

Le sujet 9 a progressé pour neuf notions et a donné des réponses similaires et acceptables pour trois. Il n'a pas réussi tant dans le questionnaire préformation que dans le questionnaire postformation la transcription de schéma à dessin, mais a progressé, car dans le questionnaire postformation, il a transposé l'idée du circuit en série (ce qu'il n'avait pas fait dans le questionnaire préformation). Il n'a toutefois pas

porté attention au contact au plot et au culot des ampoules. Son niveau de confiance a augmenté de façon légitime pour toutes les notions pour lesquelles il a été mesuré.

Le sujet 10 a réussi l'ensemble des questions du questionnaire postformation. Il a progressé pour sept notions et est resté constant pour cinq. Son niveau de confiance a augmenté en toute légitimité pour six des sept notions pour lesquelles il a été mesuré.

Le sujet 11 a progressé pour six notions, est resté stable pour quatre, dont deux qui n'étaient pas réussies au départ (le court-circuit et la transcription de schéma à dessin). Il a régressé pour le rôle des fils, car il explique que le courant qui s'y établit fait en sorte que les électrons s'ordonnent et qu'ils circulent sans cesse et sans sens. Sa définition du courant laisse entendre la même idée, mais sa réponse reste malgré tout meilleure que dans le questionnaire préformation étant donné les liens et le vocabulaire utilisé. Pour l'ampoule, le sujet dit que la résistance dépend du nombre de volts, ce qui est erroné, alors qu'il donnait simplement la fonction d'éclairage dans le questionnaire préformation. Son niveau de confiance a augmenté pour toutes les notions pour lesquelles il a été mesuré, ce qui était légitime, sauf pour celle du court-circuit que ce sujet n'a diagnostiqué ni avant ni après la formation.

Le sujet 12 a progressé pour six notions et est resté stable pour cinq, dont une mal comprise : le rôle de l'ampoule. En fait, sa réponse est incomplète; il déclare que l'ampoule allume selon la tension du circuit, mais il ne parle pas du tout de courant. Il a régressé pour la notion de court-circuit, pensant dans le questionnaire postformation qu'un circuit en parallèle était tracé. Son niveau de confiance a augmenté en toute légitimité pour cinq des sept notions mesurées à cet effet.

Le sujet 13 a progressé pour sept notions, est resté stable pour cinq, dont trois sont non comprises dans les deux questionnaires. Dans les deux questionnaires, il interprète l'ampoule comme un consommateur ou un canalisateur d'énergie et ne parle pas du tout de transfert d'énergie. L'autre erreur retrouvée dans les deux

questionnaires concerne la transcription de schéma à dessin; à deux reprises, il n'a pas tenu compte de la précision des contacts entre le plot et le culot pour respecter l'entrée et la sortie des ampoules. Enfin, il ne comprend visiblement pas la notion de court-circuit du questionnaire même s'il n'a pas donné la même justification dans les deux questionnaires. Son niveau de confiance a augmenté en toute légitimité pour quatre notions et non légitimement pour deux, celles de court-circuit et de la transcription de schéma à dessin.

Le sujet 14 a progressé pour quatre questions et a donné des réponses similaires pour huit notions. Sept de ces notions sont justes dans les deux questionnaires. La question portant sur le court-circuit a été échouée dans les deux questionnaires. Son niveau de confiance a augmenté pour quatre notions, en toute légitimité.

Le sujet 15 n'avait malheureusement pas remis son questionnaire préformation. On ne peut donc pas commenter son évolution. Ses résultats au questionnaire postformation ont été compilés dans le tableau 4.7.

Le sujet 16 a progressé pour trois notions, a régressé pour une et est resté stable pour huit : quatre sont justes dans les deux questionnaires, quatre sont non comprises dans les deux questionnaires. Il importe de mentionner que ce sujet a manqué une séance de formation, qu'il souhaitait partir tôt et qu'il semblait peu s'investir dans la formation. Son recul est dû au fait que ce sujet n'a pas donné de réponse pour le rôle de la pile dans le questionnaire postformation. Sa non-compréhension du circuit en parallèle, du circuit mixte et du court-circuit est restée. Pour la transcription de schéma à dessin, les réponses choisies semblent montrer un circuit en série (comme dans le schéma), mais les contacts avec le plot et le culot ne sont pas respectés dans tous les dessins choisis. Son niveau de confiance a augmenté pour trois notions : deux de façon légitime, et une, pour la notion du circuit en parallèle, de façon illégitime. Il interprète le circuit en parallèle comme un circuit en série pour ce qui est de la luminosité des ampoules.

Le sujet 17 a progressé pour sept notions et a redonné de mauvaises réponses pour les cinq autres, dont le court-circuit et la transcription de schéma à dessin. Son niveau de confiance a augmenté pour quatre notions en toute légitimité.

On constate que dans le groupe 1, les sujets ont généralement progressé ou sont restés stables par rapport à une réponse plutôt juste pour plusieurs notions : le circuit fermé, le circuit en série, le circuit en parallèle, le circuit mixte et la transcription de dessin à schéma. Dans le groupe 2, les sujets ont généralement progressé ou sont restés stables par rapport aux mêmes concepts, et aussi par rapport au rôle de la pile et à la notion de courant.

En somme, lorsqu'on compare les deux groupes, on remarque que le deuxième groupe a davantage progressé que le premier par rapport aux notions de courant et du rôle de la pile. Comme mentionné précédemment, les dernières activités de manipulation, les comparaisons de circuit, semblent avoir aidé à consolider l'interprétation et le vocabulaire à employer lorsqu'il est question de courant ou de tension. Les sujets du groupe 1 ont eu davantage tendance à utiliser le concept d'énergie que ceux du groupe 2. Ce concept étant un peu « fourre-tout », il n'a pas toujours été employé correctement par les enseignants. Un autre élément marquant du tableau 4.8 est que dans les deux groupes, les sujets n'ont généralement pas progressé par rapport à la notion de court-circuit. Cette notion devra prendre plus d'attention et de temps dans la version finale de la formation.

4.3.1.3 Conclusion sur les apprentissages en électricité réalisés par les enseignants

En somme, les notions de circuit fermé, de circuit en série, de circuit en parallèle et de circuit mixte, ainsi que la transcription de dessin à schéma sont généralement bien acquises lors de la formation. La notion d'entrée et de sortie des ampoules, ou des dispositifs électriques en général, gagnera à être revue plus souvent une fois que les activités de manipulation et d'interprétation qualitative s'enchaînent, ce qui favorisera

la transcription précise de schéma à dessin, entre autres. La notion de court-circuit devra être vue dans différents types de circuits. La relation entre la tension et le courant pourra être encore plus évidente pour les enseignants si le lien entre l'intensité lumineuse des ampoules et l'intensité du courant est explicite dans les activités. Enfin, les activités de comparaison de circuits sont de belles occasions pour les enseignants de consolider ou de développer les concepts de courant, de résistance et de tension ainsi que les relations qui les unissent. Il faut donc les conserver.

Pour les apprentissages en électricité, les résultats vont tel qu'indiqué dans le tableau 4.9. Ils sont présentés pour chacune des hypothèses *a priori*.

Tableau 4.9
Les apprentissages réalisés en électricité chez les enseignants des deux groupes et les recommandations pour la mise au point finale de la formation

Hypothèse <i>a priori</i>	Groupe 1	Groupe 2	Recommandations
i. Ils comprendront qu'un circuit simple en courant continu doit être fermé et qu'on l'analyse comme un tout.	✓	✓	- Continuer à utiliser des interrupteurs dans les expérimentations et employer ponctuellement des ampoules sans support.
ii. Ils comprendront que le courant ne diminue pas en parcourant un circuit.	✓	✓	s.o.
iii. Ils comprendront que le courant correspond à des électrons qui circulent dans un sens.	X	✓	s.o.
iv. Ils comprendront qu'une ampoule loin ou près de la pile aura la même intensité.	✓	✓	s.o.
v. Ils comprendront la notion de court-circuit.	- Expérimenter les courts-circuits dans différents contextes de montages.

vi. Ils apprendront qu'il y a deux façons de brancher les composantes d'un circuit : en série et en parallèle.	✓	✓	s.o.
vii. Ils distingueront les notions de tension, de courant et de résistance : I. que le courant est influencé par la tension et la résistance dans le circuit. II. que les électrons bougent dans le circuit à cause de la pile.	x	...	<ul style="list-style-type: none"> - Proposer un défi ou une prédiction au sujet d'un circuit en parallèle où les ampoules ne sont pas identiques et placées dans un circuit en parallèle; - Davantage expliciter le lien entre l'intensité du courant et l'intensité lumineuse; - Aborder de front le concept d'énergie pour ne pas qu'il soit confondu avec les autres concepts; - Conserver l'idée que les électrons se trouvent déjà dans les fils, avant que le courant s'établisse; - Conserver les activités de comparaison pour permettre aux enseignants de s'exprimer qualitativement notamment sur les notions de tension, de courant et de résistance; - Continuer à parler du transfert d'énergie, mais également du concept de résistance qui varie d'un dispositif à l'autre, d'un type d'ampoule à l'autre.
viii. Ils apprendront à représenter et reconnaître des schémas de circuits.	<ul style="list-style-type: none"> - Continuer de parler explicitement du contact avec le plot et le culot des ampoules pendant toute la formation et faire manipuler les ampoules sans support à ampoule pour éviter des erreurs d'illustration des contacts lors de la transcription de schéma à dessin.

Légende : ✓ : La majorité des enseignants a réussi la majorité des questions associées à cette hypothèse *a priori*.
 ... : La majorité des enseignants a réussi environ la moitié des questions associées à cette hypothèse *a priori*.
 x : Peu d'enseignants ont réussi les questions associées à cette hypothèse *a priori*.

En somme, selon les résultats des enseignants du groupe 2, la formation paraît au point pour ce qui est des hypothèses *a priori* i, ii, iii, iv et vi. Les apprentissages visés par les hypothèses *a priori* v, vii et viii ne peuvent pas être considérés comme atteints puisque les questions les concernant ont été réussies par peu d'enseignants. Ces hypothèses *a priori* étaient d'un niveau de difficulté plus élevé conceptuellement. Les améliorations qui découlent de l'analyse ont pour objectif que la version finale de la formation puisse permettre éventuellement à des enseignants qui vivraient la formation d'atteindre tous les apprentissages visés en électricité.

4.3.2 Apprentissages relatifs aux pratiques d'enseignement réalisés par les enseignants (OS2)

Ces résultats concernent l'objectif *Mettre à l'essai le dispositif de formation afin d'évaluer si les enseignants réalisent les apprentissages visés en électricité et s'ils utilisent et déclarent désormais utiliser les pratiques favorisant le CC (OS2)*. Les apprentissages relatifs aux pratiques d'enseignement sont présentés dans cette section. Ces résultats découlent de diverses sources de données : les observations vidéographiées de séances en classe, les planifications effectuées par les enseignants à la suite de la formation et la comparaison de déclarations entre les entrevues 1 et 2. Dans les paragraphes qui suivent, les résultats principaux sont présentés en fonction de chacune des hypothèses *a priori* et une conclusion est formulée quant aux orientations à considérer pour améliorer le dispositif de formation. Les résultats détaillés des occurrences comptabilisées lors des séances filmées et des planifications sont présentés dans des tableaux qui reprennent les codes utilisés lors du codage. Ces codes correspondent aux hypothèses *a priori*. Les tableaux présentent les totaux d'occurrences par groupe selon la provenance des données (vidéo ou planification) ainsi que le nombre d'enseignants par groupe chez lesquels la pratique a été codée. Ces tableaux se trouvent dans les sections qui suivent. Enfin, lorsque les enseignants ont effectué des déclarations concernant une hypothèse *a priori* dans l'entrevue 1 ou

2, cette donnée vient enrichir les autres observations en offrant un angle d'analyse supplémentaire.

4.3.2.1 Commentaire global sur les données recueillies

De façon générale, la majorité des enseignants ont déclaré que leur planification et que la captation vidéo étaient représentatives du déroulement vécu en classe. Les planifications ont été analysées en entier et codées à partir des codes découlant des hypothèses de l'analyse *a priori*. Les séquences d'enseignement de tous les enseignants se sont quant à elles échelonnées sur plusieurs semaines. À cette occasion, une période d'environ une heure a été filmée dans la classe de chaque enseignant, laquelle a été déclarée représentative de leur enseignement pour l'enseignement de l'ensemble de la séquence. En effet, lors de la deuxième entrevue, l'ensemble des enseignants ont déclaré que leur planification avait été intégralement respectée, à quelques détails près : la majorité des enseignants ont pris plus de temps que prévu pour réaliser leurs activités et certains autres ont retiré, déplacé ou ajouté une activité. Quant à la séance filmée, six des sept enseignants du groupe 1 et huit des dix enseignants du groupe 2 ont déclaré qu'elle est représentative de leur enseignement de l'ensemble de la séquence portant sur l'électricité. Seulement trois enseignants ont répondu par la négative. Ainsi, le sujet 4 du groupe 1 a expliqué qu'au lieu de faire travailler tous les élèves en équipe en même temps, il a soit procédé en grand groupe avec une démonstration collective, soit aménagé un coin de sciences pour 2-3 élèves à la fois. Les sujets 13 et 16 du groupe 2 ont quant à eux fait plus d'arrêts et de retours pendant la période filmée que pendant les suivantes étant donné que celle filmée était au début de leur séquence d'enseignement. Dans l'ensemble, nous pouvons donc prendre pour acquis que nos sujets ont vécu leur planification comme prévu et que la séance filmée est généralement représentative.

4.3.2.2 Résultats de l'analyse *a posteriori* portant sur la pratique d'enseignement

Dans le texte suivant, les grandes lignes des résultats sont présentées selon les catégories des modalités des pratiques d'enseignement (Bru, 1991; 2006), chaque catégorie étant divisée en fonction des éléments concernant le CC en général et des éléments particuliers à l'enseignement de l'électricité. Les occurrences de chaque hypothèse *a priori* des vidéos et des planifications sont discutées et comparées avec prudence puisqu'il y a 3 enseignants de plus dans le groupe 2, que les séances filmées n'ont pas toutes la même durée et que les planifications ne sont pas toutes autant détaillées les unes que les autres même si un canevas avait été fourni aux enseignants. En complément, le nombre d'enseignants chez qui la pratique a été observée est indiqué. Quelques données recueillies lors de l'entrevue postformation viennent trianguler les observations des planifications et des vidéos à la fin de certaines sous-sections. Enfin, quelques pratiques émergentes des données recueillies ne faisant pas partie des hypothèses *a priori*, mais semblant complémentaires et intéressantes pour favoriser le CC, sont présentées à la fin de cette section.

4.3.2.2.1 Structuration des contenus

La synthèse des observations se rapportant aux pratiques d'enseignement associées à la structuration des contenus est présentée dans cette sous-section. Une première partie aborde les pratiques d'enseignement favorisant le CC en général et une deuxième partie aborde les pratiques d'enseignement particulières à l'électricité.

Structuration des contenus – pratiques favorisant le CC

Le tableau 4.10 montre le nombre d'occurrences pour chaque hypothèse *a priori* de chacun des groupes ainsi que la proportion d'enseignants chez qui ces pratiques favorisant le CC associées à la structuration des contenus ont été observées.

Tableau 4.10
Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques
favorisant le CC visées par les hypothèses *a priori* associées à la structuration des
contenus et documentées dans les planifications et les vidéos

Hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> de la structuration des contenus	Groupe 1		Groupe 2	
	Planif.	Vidéos	Planif.	Vidéos
Amener les élèves à résoudre un problème.	35 7/7	42 7/7	104 10/10	66 10/10
Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes.	60 6/7	6 4/7	79 10/10	26 7/10
Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel.	81 7/7	68 6/7	86 10/10	145 9/10

Les résultats de chacune des hypothèses *a priori* de la structuration des contenus découlant des recherches portant sur le CC sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Amener les élèves à résoudre un problème

Dans les deux groupes, tant dans les vidéos que dans les planifications, l'ensemble des enseignants a *amené les élèves à résoudre des problèmes*. Notamment, les enseignants ont planifié et animé les défis électriques ainsi que proposé un projet avec un cahier de charges comportant diverses contraintes.

Lors de l'entrevue 2, quelques déclarations concernent *amener les élèves à résoudre un problème*. Dans leur bilan des apprentissages réalisés lors de la formation, deux enseignants du groupe 1 ont mentionné qu'ils ont appris à utiliser les défis et à proposer un projet final complexe aux élèves. Le sujet 8 du groupe 2 a mentionné qu'à l'avenir, dans son enseignement des sciences, il pensera davantage aux défis pour ses élèves : « Puis j'aime bien le concept aussi du petit défi. Je vais essayer d'en proposer [...] j'ai l'impression que c'est plus motivant pour eux. » Il est le seul enseignant qui a indiqué qu'il emploierait à l'avenir l'idée de proposer des défis aux élèves dans son enseignement des sciences. Enfin, dans le groupe 2, comme condition

à mettre en œuvre pour favoriser l'apprentissage en sciences, trois enseignants proposaient lors de l'entrevue 1 de poser des problèmes aux élèves, et deux lors de la deuxième entrevue. Le fait de proposer des problèmes correspond en effet à la première compétence de *Science et technologie* du programme (MEQ, 2001).

Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes

Seize des dix-sept enseignants participants ont planifié un projet synthèse dans lequel les élèves étaient amenés à réaliser un circuit qui devait répondre à diverses contraintes et qui permettait de *revenir sur les concepts, de les réutiliser dans un contexte différent* des activités antérieures. Ils avaient également planifié *revenir sur les concepts* en animant des retours à la fin des activités, ce qui fut observé en classe chez quatre enseignants du groupe 1, et chez sept enseignants du groupe 2. Toutefois, dans les captations vidéo, des retours en profondeur sur les concepts n'ont pas été constatés aussi fréquemment que des retours superficiels portant sur la description des montages et de la luminosité des ampoules. Les retours étaient surtout concrets, descriptifs et pratiques par rapport au montage plutôt qu'approfondis et abstraits en regard des concepts. Par exemple, les enseignants demandaient aux élèves d'observer la différence d'intensité lumineuse entre un circuit en série et un circuit simple, mais peu poussaient plus loin jusqu'à aboutir à l'idée que l'intensité lumineuse est un indicateur du courant.

Lorsqu'on compare ce que les enseignants ont mentionné comme conditions qui favorisent l'enseignement des sciences lors des entrevues 1 et 2, davantage d'enseignants ont mentionné les « retours sur les activités » après la formation. En effet, lors de l'entrevue 1, une seule enseignante, du groupe 2, a indiqué comme condition favorisant l'apprentissage des sciences d'animer des retours en fin d'activité et lors de l'entrevue 2, sept enseignants du groupe 2 l'ont indiqué comme condition, ce qui est beaucoup plus. Le sujet 16 l'a exprimé comme suit : « Faire des retours comme on a fait pendant la formation, c'est très important. » Les enseignants

du groupe 1 en ont peu parlé dans leurs entrevues. Enfin, seul le sujet 8 a indiqué qu'à l'avenir, il ferait plus de retours sur les contenus dans son enseignement des sciences.

Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel

Dans les deux groupes, tant dans les vidéos que dans les planifications, les enseignants ont *enseigné une sélection de concepts connexes dans le champ conceptuel* de l'électricité : le circuit fermé, le circuit en série, le circuit en parallèle, le rôle de la pile, le courant, etc.

Conclusion sur l'atteinte des apprentissages visés relatifs à la structuration des contenus – pratiques favorisant le CC

Ainsi, pour ce qui est de la *structuration des contenus – pratiques favorisant le CC*, les groupes présentent des pratiques similaires en classe ainsi que des planifications plutôt équivalentes sauf pour la pratique *revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes*, qui fut plus observée chez les enseignants du groupe 2 dans les planifications, les vidéos et dans les déclarations de l'entrevue 2. Les apprentissages *amener les élèves à résoudre un problème* et *enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel* sont considérés atteints par les enseignants des groupes 1 et 2, mais *revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes*, a été davantage atteint par ceux du groupe 2. La lacune notée pour cette pratique concerne les retours parfois davantage descriptifs plutôt que conceptuels. La version finale de la formation devrait être ajustée en conséquence.

Propositions d'améliorations découlant de ces résultats pour la mise au point finale de la formation

Lors de la mise au point finale de la formation, il faudrait accorder de l'importance sur revenir sur les concepts scientifiques en fin de cours. En plus d'être modelé par la chercheure-formatrice, les retours et leur importance pour la conceptualisation

devraient être mis en lumière de façon explicite pour aider les enseignants à dépasser les retours qui portent simplement sur les observations des montages.

Structuration des contenus – enseignement de l'électricité

Le tableau 4.11 montre le nombre d'occurrences pour chaque hypothèse *a priori* de chacun des groupes pour les apprentissages des pratiques classées dans la *structuration des contenus – enseignement de l'électricité* ainsi que la proportion d'enseignants chez qui ces hypothèses ont été observées.

Tableau 4.11

Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques visées par les hypothèses *a priori* associées à la structuration des contenus en électricité et documentées dans les planifications et les vidéos

Hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> de la structuration des contenus	Groupe 1		Groupe 2	
	Planif.	Vidéos	Planif.	Vidéos
Aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé).	50 7/7	18 7/7	58 9/10	30 9/10
Introduire la notion de courant avec la manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit.	0 0/7	0 0/7	0 0/10	0 0/10
Débuter avec la notion de courant.	10 4/7	4 2/7	30 10/10	25 7/10
Aborder ensuite la notion de résistance.	5 2/7	0 0/7	27 8/10	15 4/10
Aborder en dernier lieu la notion de tension.	3 2/7	0 0/7	13 8/10	16 5/10
Enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas.	8 7/7	8 4/7	10 10/10	22 5/10
Utiliser des analogies en fin d'apprentissage, en soulignant leurs limites et en aidant les élèves à comprendre les composantes isomorphes.	0 0/10	1 1/7	20 6/10	11 5/10

Les résultats de chacune des hypothèses *a priori* de la structuration des contenus en électricité sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé)

Pour la structuration des contenus spécifique à l'enseignement de l'électricité, dans les planifications et lors des séances filmées, tous les enseignants du groupe 1 et neuf des dix enseignants du groupe 2 ont *abordé l'idée que le circuit est un tout et qu'il est fermé*. La notion du circuit fermé a explicitement été abordée, plus que celle du circuit considéré comme un tout, qui a été abordée implicitement, notamment lorsque les enseignants demandaient aux élèves de décrire l'intensité des ampoules dans un circuit en série, attirant l'attention sur le fait que les deux ampoules similaires ont la même intensité.

Introduire la notion de courant avec la manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit

Dans les planifications et les séances filmées des deux groupes, il y a une équivalence des enseignants des deux groupes qui ont tous choisi de ne pas *introduire la notion de courant avec la manipulation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit*. Les enseignants ne semblent pas avoir été convaincus par cette expérience car ils ont tous décidé de ne pas la faire vivre à leurs élèves.

Débuter avec la notion de courant

Les deux groupes divergent sur plusieurs pratiques d'enseignement liées à la structuration des contenus spécifiques à l'enseignement de l'électricité. Notamment, l'intention de *débuter avec la notion de courant* en début de séquence d'enseignement était plus présente dans les planifications du groupe 2 que dans celles des enseignants du groupe 1. D'ailleurs ce concept a été observé dans les séances filmées chez seulement deux enseignants du groupe 1, mais chez sept enseignants du groupe 2. Le moment choisi pour filmer en classe n'influçait pas l'observabilité de

ce concept, qui, introduit tôt, revient constamment d'une séance à l'autre, avec les concepts de résistance et de tension. En effet, ces trois concepts sont interreliés.

Aborder ensuite la notion de résistance et Aborder en dernier lieu la notion de tension

Ces deux hypothèses *a priori* sont traitées ensemble, car elles sont plus complexes que les autres et interreliées. Les notions de *résistance* et de *tension* ont été planifiées chez seulement deux enseignants du groupe 1 et aucunement observées dans les séances filmées de ce groupe. Or, elles ont été planifiées par huit enseignants du groupe 2 et observées dans les séances filmées chez quatre enseignants (*résistance*) et cinq enseignants (*tension*) de ce groupe. On remarque donc que les enseignants du groupe 2 ont davantage organisé des activités abordant les concepts de courant, de résistance et de tension. On peut penser que le temps supplémentaire accordé aux activités de comparaison de circuits lors de la formation du groupe 2 puisse expliquer cette différence entre les deux groupes. Encore une fois, lors de l'interprétation des circuits, plusieurs enseignants du groupe 1 en sont restés à la description de l'intensité lumineuse des ampoules et ont peu pris appui sur ces descriptions pour aborder l'effet des résistances ou la poussée de la pile (la tension).

Enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas

Tous les enseignants ont planifié *enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas* selon une progression allant du plus simple au plus complexe. En classe, cette pratique a été observée à l'intérieur d'une séance notamment lorsque l'enseignant fractionnait un défi électrique en deux étapes pour aider les élèves ou lorsqu'il proposait un enrichissement ou une activité supplémentaire aux élèves plus rapides. Quatre enseignants du groupe 1 et cinq du groupe 2 ont proposé cette différenciation lors de leur séance filmée.

Lorsqu'on compare l'observation de cette hypothèse *a priori* et avec les phases de la théorie des situations de Brousseau (1998), on remarque que les enseignants ont passé beaucoup de temps sur la phase de l'action. Davantage d'enseignants du groupe 2 ont animé la phase de formulation, soit la conceptualisation. Enfin, le projet de la maquette d'une pièce de la maison correspondait à une phase de validation pour les élèves qui devaient prévoir un circuit qui allait répondre à des contraintes. Une grande majorité des enseignants ont proposé ce projet à leurs élèves.

Quelques déclarations recueillies lors de l'entrevue postformation témoignent également de l'intention d'enseigner *selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas*. Dans leur bilan des apprentissages réalisés lors de la formation, deux enseignants du groupe 1 et un enseignant du groupe 2 ont mentionné qu'ils ont appris à planifier et à respecter les étapes d'une démarche structurée pour enseigner une séquence en électricité. Le sujet 6 a déclaré : « Planifier la séquence à partir des activités réalisées dans la formation m'a beaucoup aidée pour savoir où m'enligner, comment structurer... Tu sais, j'ai besoin d'organiser où je m'en vais, de savoir que ceci vient après ça. Je trouvais ça intéressant d'avoir une belle structure devant moi. »

Utiliser des analogies en fin d'apprentissage, en soulignant leurs limites et en aidant les élèves à comprendre les composantes isomorphes

Enfin, les *analogies* n'ont pas fait l'objet d'activités planifiées chez les enseignants du groupe 1, tandis que chez six enseignants du groupe 2, elles ont été planifiées. Lors des captations vidéo, un enseignant du groupe 1 a tout de même utilisé une analogie (celle de l'eau dans les tuyaux), mais elle ne l'avait pas indiquée dans sa planification. Dans le groupe 2, cinq enseignants ont été filmés animant l'analogie du train, celle du *Jell-O* (une analogie inventée par le sujet 8, comparant les résistances à un mur de *Jell-O* à traverser) ou demandant aux élèves de bouger comme s'ils étaient des électrons, simulant le parcours d'un circuit lorsque le courant s'établit.

Dans les captations vidéo où des enseignants ont utilisé des analogies, ceux-ci ont présenté des composantes isomorphes entre l'électricité et l'analogie sans impliquer les élèves, mais les limites des analogies n'ont pas été explicitées, tel que le recommande Glynn (2007).

Conclusion sur l'atteinte des apprentissages visés relatifs à la structuration des contenus – enseignement de l'électricité

En somme, on remarque par le nombre d'occurrences que le groupe 2 a davantage utilisé de pratiques d'enseignement liées à la *structuration des contenus – enseignement de l'électricité*; ils ont davantage employé l'*analogie* et ont davantage abordé explicitement les concepts en électricité en débutant avec le *courant*, poursuivant avec la *résistance*, puis introduisant la *tension*. Étant donné que seuls six enseignants du groupe 2 ont planifié utiliser l'analogie, cette pratique pourrait être davantage travaillée et approfondie dans la formation. Les pratiques *aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé)* et *enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas* sont présentes dans les données recueillies et sont présentes chez les enseignants des deux groupes. L'idée du circuit fermé est davantage présente et explicite que l'idée du circuit à considérer comme un tout; cette distinction et l'importance d'aborder le circuit comme un tout pourraient davantage être présentes dans la formation. Enfin, la *manipulation du court-circuit* pour introduire la notion du courant a été complètement absente de la planification de tous les enseignants. Alors, son utilité aurait donc avantage à être soulignée.

Propositions d'améliorations découlant de ces résultats pour la mise au point finale de la formation

Un accent sur l'utilité et la pertinence de l'activité du court-circuit pour introduire la notion de courant devrait être effectué lors de la mise au point finale de la formation. Pour que cette activité soit plus convaincante, un morceau de nichrome pourrait être employé, ce dernier chauffant plus que l'aluminium, qui avait été employé avec les

cohortes des deux groupes. De plus, l'explicitation du circuit à considérer comme un tout aurait avantage à être plus présente dans la formation. Enfin, un approfondissement des concepts de courant, de résistance et de tension, par différentes expérimentations, par des défis, par l'interprétation, par la comparaison de circuits et par la présentation d'analogies doit continuer d'être présent dans la formation, telle celle reçue dans le groupe 2, en poussant davantage l'activité impliquant des analogies.

4.3.2.2.2 Processus

La synthèse des observations se rapportant aux hypothèses *a priori* de la modalité des processus de la pratique d'enseignement est présentée dans cette sous-section. Une première partie aborde les éléments favorisant le CC en général et une deuxième partie concerne les éléments favorisant particulièrement l'apprentissage de l'électricité.

Processus – pratiques favorisant le CC

Le tableau 4.12 montre le nombre d'occurrences pour chaque hypothèse *a priori* relatives au *processus – pratiques favorisant le CC* de chacun des groupes ainsi que le nombre d'enseignants chez qui ces pratiques ont été observées.

Tableau 4.12
Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques
visées par les hypothèses *a priori* associées aux processus favorisant le CC
et documentées dans les planifications et les vidéos

Hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> des processus	Groupe 1		Groupe 2	
	Planif.	Vidéos	Planif.	Vidéos
Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions.	52 7/7	17 5/7	73 10/10	46 10/10
Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant).	37 7/7	148 7/7	96 10/10	241 10/10

Les résultats de chacune des hypothèses *a priori* des processus découlant des recherches portant sur le CC sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions

De façon générale, les enseignants ont planifié *permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions* et ce fut également observé en classe. Les conceptions étaient notamment exprimées lors de la résolution des défis électriques oralement, par des croquis de montages et par l'essai de montages. Dans l'entrevue postformation, un enseignant du groupe 1 et trois enseignants du groupe 2 ont même indiqué que changer les conceptions des élèves représentait un de leurs objectifs d'apprentissage de la séquence d'enseignement de l'électricité qu'ils ont élaborée.

Toujours lors de l'entrevue 2, pour leur enseignement des sciences, trois enseignants du groupe 1 et quatre enseignants du groupe 2 ont déclaré qu'à l'avenir, ils comptent demander aux élèves d'exprimer leurs conceptions au début d'une activité. Le sujet 10 a même dit que demander les prédictions et les hypothèses, « ça peut prendre une période complète d'une heure. » Un enseignant de chaque groupe mentionne d'ailleurs dans son bilan des apprentissages réalisés lors de la formation qu'il a appris à faire émerger les conceptions des élèves avant les expérimentations.

Enfin, lors de la première entrevue, à la question portant sur les conditions favorisant l'apprentissage en sciences, seulement deux enseignants du groupe 1 et un du groupe 2 ont mentionné l'importance de « partir des connaissances des élèves » tandis que lors de la deuxième entrevue, trois enseignants du groupe 1 et cinq du groupe 2 ont mentionné cette importance. Le sujet 9 a exprimé que de « partir des conceptions » est une nouvelle condition pour lui : « Bien, le fait de partir de leurs conceptions, ça c'est quelque chose de nouveau. [...] dans ce que j'ai appris de la formation, mais il y a beaucoup de ça. J'ai tendance à vouloir faire comme si les élèves ne savaient rien au départ. »

En somme, les enseignants ont donc davantage le réflexe de déclarer cette pratique comme condition essentielle favorisant l'apprentissage en sciences après la formation. Le réflexe de penser à la transférer pour l'enseignement des sciences ultérieur semble toutefois moins répandu dans les déclarations des enseignants.

Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant)

Le grand nombre d'occurrences dans les planifications et les vidéos des deux groupes montre que tous les enseignants ont *encouragé les discussions* auprès des élèves. Ils ont animé des discussions en grand groupe, poussé les élèves à discuter entre eux en équipe et ont interagi avec les élèves pendant le travail d'équipe lors de la réalisation des défis, par exemple. L'aide accordée par l'enseignant par le questionnement des élèves était incluse dans cette rubrique. Les discussions ont été omniprésentes lors de la formation, ce qui a pu inspirer les enseignants à utiliser les interactions orales avec leurs élèves. Il peut être signalé, en cohérence avec un point précédent, que ces discussions étaient parfois tournées vers le récit descriptif des circuits, parfois sur la conceptualisation. Cela dit, toutes intentions confondues et de façon générale, les enseignants des deux groupes ont animé des discussions.

Quelques déclarations recueillies lors de l'entrevue postformation témoignent également de l'animation de discussions. Deux enseignants du groupe 1 ainsi qu'un enseignant du groupe 2 ont déclaré qu'à l'avenir, ils questionneront davantage leurs élèves. Ces trois enseignants songent à transférer cette pratique dans leur enseignement ultérieur. Le sujet 10 l'a exprimé comme suit : « Je souhaite plus les questionner et leur renvoyer la balle. [Elle fait alors comme si elle parlait à un élève] : Pourquoi penses-tu ainsi ? Essaie-le. Montre-le-moi. »

Deux enseignants du groupe 2 mentionnaient déjà à la première entrevue que susciter la discussion en classe constitue une condition qui favorise l'apprentissage en sciences. À la deuxième entrevue, plus d'enseignants ont mentionné ce point : deux

dans le groupe 1 et trois dans le groupe 2. Lorsque les enseignants ont indiqué ce qu'ils pensent devoir faire lorsqu'ils sont confrontés aux conceptions des élèves, le questionnement des élèves est une réponse peu courante dans le groupe 1 (un seul enseignant a mentionné cette pratique à chaque entrevue) tandis que quatre enseignants du groupe 2 l'avait déjà dit à la première entrevue et que sept l'ont recommandé lors de la deuxième. Le sujet 3 a exprimé qu'il allait davantage tenir compte des conceptions entre autres en questionnant ses élèves : « Une fois qu'ils l'ont dit [la conception], tu essaies d'aller poser des questions puis aussi de confronter leur conception. »

Enfin, pour la question portant sur les types d'activité à prioriser pour changer les conceptions (un choix d'activités était proposé), le questionnement a été une réponse populaire mais pas nécessairement priorisée lors de la première entrevue, tandis que le questionnement et la discussion ont été choisis et priorisés par l'ensemble des enseignants sauf un lors de la deuxième entrevue. Le questionnement, habituellement recommandé pour favoriser le CC, est également sous-entendu pour la conceptualisation visée par la compétence *Proposer des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique* (MEQ, 2001). Les éléments recueillis lors de l'entrevue postformation triangulent ainsi fortement les observations effectuées dans les planifications et les vidéos.

Conclusion sur l'atteinte des apprentissages visés relatifs aux processus – pratiques favorisant le CC

En somme, les enseignants des deux groupes ont des pratiques similaires pour les *processus – pratiques favorisant le CC*; ils ont suscité les *discussions* et ont donné aux élèves l'occasion d'*exprimer leurs conceptions*. C'était planifié et ce fut observé en classe. Les enseignants du groupe 2 en parlent toutefois davantage lors de la deuxième entrevue que ceux du groupe 1; peut-être ont-ils une plus grande conscience de l'impact positif de ces pratiques sur le CC ou bien sont-ce des

pratiques éprouvées qu'ils emploient depuis longtemps, comme certaines des réponses à la première entrevue le laissent croire.

Propositions d'améliorations découlant de ces résultats pour la mise au point finale de la formation

Pour la mise au point finale de la formation, il n'y a donc pas de mesure particulière à prendre pour amener les enseignants à faire discuter ou faire exprimer leurs conceptions à leurs élèves étant donné qu'ils planifient et emploient cette pratique avec la formation telle qu'ils l'ont vécue. Toutefois, les différentes intentions possibles de l'emploi de la discussion pourraient être présentées explicitement aux enseignants (discussion divergente ou convergente; discussion concrète et descriptive ou abstraite et conceptuelle).

Processus – enseignement de l'électricité

Le tableau 4.13 montre le nombre d'occurrences pour chaque hypothèse *a priori* relatives au *processus – enseignement de l'électricité* de chacun des groupes ainsi que le nombre d'enseignants chez qui ces hypothèses ont été observées.

Tableau 4.13
Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques
d'enseignement visées par les hypothèses *a priori* associées aux processus en
électricité et documentées dans les planifications et les vidéos

Hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> des processus	Groupe 1		Groupe 2	
	Planif.	Vidéos	Planif.	Vidéos
Employer l'expérimentation.	48 7/7	32 7/7	68 10/10	56 10/10
Utiliser un enseignement constructiviste.	35 6/7	37 7/7	53 9/10	61 10/10
Faire faire aux élèves une interprétation qualitative des circuits montés ou du récit qu'un texte peut en faire.	15 7/7	36 6/7	54 10/10	94 10/10
Inciter les élèves à expliquer et interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée.	9 3/7	48 7/7	20 4/10	95 10/10
Pour aider les élèves à structurer leurs idées, utiliser des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes.	40 6/7	92 7/7	65 10/10	86 10/10

Les résultats de chacune des hypothèses *a priori* des processus découlant des recherches portant sur l'enseignement de l'électricité sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Employer l'expérimentation

Les enseignants ont tous *employé l'expérimentation* dans les séances filmées et ils l'avaient tous planifiée également. Par exemple, ils ont proposé des défis électriques, impliquant maintes manipulations ou ont demandé aux élèves de réaliser une maquette d'une pièce de la maison avec des contraintes d'éclairage et d'interrupteurs.

Lors de l'entrevue postformation, l'idée d'*employer l'expérimentation* est revenue à maintes reprises dans les réponses des enseignants : quatre enseignants de chaque groupe ont dit qu'à l'avenir, ils proposeront plus de manipulations aux élèves; quatre enseignants du groupe 1 ont dit en bilan qu'ils ont appris à laisser expérimenter les

élèves sans trop les guider, sans donner de réponse toute faite; quatre enseignants du groupe 1 ainsi que l'ensemble des enseignants du groupe 2 ont proposé l'expérimentation comme une des conditions essentielles qui favorise l'apprentissage des sciences et deux enseignants du groupe 1 et neuf des dix enseignants du groupe 2 ont dit que l'expérimentation est un moyen à employer lorsque les enseignants repèrent des conceptions initiales erronées chez leurs élèves. Un peu comme l'a exprimé le sujet 11 lors de l'entrevue 2, les enseignants ont souvent parlé de l'importance de la manipulation comme condition : « Avoir du matériel et manipuler, c'est super important. » Lors de la première entrevue, aucun enseignant du groupe 1 et huit enseignants du groupe 2 avaient déjà mentionné qu'il faut favoriser l'expérimentation lorsqu'ils constatent des conceptions erronées chez leurs élèves. Les enseignants du groupe 2 déclaraient donc déjà cette pratique utile à employer à l'égard des conceptions initiales inattendues avant même de suivre la formation. Le sujet 16 a répondu : « Bien, je leur demande d'expérimenter » comme s'il était d'une évidence que lorsqu'il prend conscience des conceptions initiales de ses élèves, ces derniers doivent expérimenter. Finalement, lorsqu'on compare les types d'activités qu'ils ont priorisés pour favoriser un changement de conceptions avant et après la formation, on constate que les enseignants priorisent tous l'expérimentation dans leur choix de réponses tant avant qu'après la formation. Les enseignants envisagent donc employer l'expérimentation dans d'autres contextes que celui de l'électricité.

Utiliser un enseignement constructiviste

De plus, les nombreuses pratiques que les enseignants ont employées durant l'enseignement observé permettent de laisser croire qu'ils se situent dans le paradigme constructiviste de l'enseignement et de l'apprentissage. En effet, les pratiques des hypothèses *a priori* reflètent ce paradigme. Puisque la pratique *utiliser un enseignement constructiviste* est inclusive, elle a été utilisée et codée lorsqu'aucun autre code ne pouvait identifier la pratique d'enseignement constructiviste observée dans la planification ou le vidéo. Par exemple, « guider les élèves », « circuler d'une

équipe à l'autre » ou « brosser le contexte de l'électricité en général » ont été associés à *utiliser un enseignement constructiviste* comme indices complémentaires d'un enseignement constructiviste. Ce type de pratique fut documenté dans les planifications de la majorité des enseignants ainsi que dans les vidéos de tous les enseignants.

Faire faire aux élèves une interprétation qualitative des circuits montés ou du récit qu'un texte peu en faire et Inciter les élèves à expliquer et interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée

Ces deux pratiques concernent l'interprétation, alors elles sont présentées ensemble. Le nombre d'occurrences nettement plus élevé indique que les enseignants du groupe 2 ont davantage planifié et employé lors de l'observation la pratique *faire faire aux élèves l'interprétation qualitative de circuits montés* ou *d'inciter les élèves à expliquer ou interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée*. Cela peut s'expliquer par le temps supplémentaire accordé à la comparaison de circuits, lors de la mise à l'essai avec le groupe 2. Cette activité de comparaison fut notamment un prétexte pour interpréter qualitativement des montages et discuter des concepts en électricité.

Pour aider les élèves à structurer leurs idées, utiliser des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes

Finalement, on constate dans les planifications et les vidéos que les enseignants des deux groupes *ont aidé les élèves à structurer leurs idées en utilisant des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes*. Dans la planification tout comme en classe lors de la séance filmée, la plupart des enseignants ont beaucoup insisté sur l'appropriation des symboles, donc sur la transcription des montages réalisés en schémas. Un seul enseignant, du groupe 2, a planifié faire réaliser une carte conceptuelle à ses élèves pour qu'ils établissent des liens entre les divers concepts en électricité.

Lors de l'entrevue 2, trois enseignants du groupe 1 ont mentionné comme objectif d'apprentissage de leur séquence qu'ils souhaitaient que leurs élèves sachent utiliser le langage symbolique. Le sujet 3 fait partie de ceux-ci : « J'ai vu que les symboles étaient super importants, alors je voulais vraiment que mes élèves se sensibilisent aux symboles. »

Conclusion sur l'atteinte des apprentissages visés relatifs aux processus – enseignement de l'électricité

En somme, la formation mise à l'essai (2) vécue par le groupe 2 (améliorée en comparaison avec celle vécue par le groupe 1) semble avoir permis aux enseignants du groupe 2 de mieux mettre l'accent sur *l'interprétation qualitative des circuits montés* et sur *l'explication des phénomènes électriques peu importe leur représentation* (montage, dessin, photo, schémas). Selon un nombre d'occurrences similaire dans les planifications et les vidéos, les enseignants des deux groupes *emploient l'expérimentation* (ce qui a également été constaté selon les déclarations recueillies lors des entrevues), *utilisent un enseignement constructiviste* et *utilisent des schémas pour aider les élèves à structurer leurs idées*. La carte conceptuelle n'a toutefois été planifiée que par un seul enseignant et aucunement observée lors des captations vidéo.

Dans la formation, la transcription des montages en employant les symboles tout comme la carte conceptuelle ont été planifiées et vécues avec les enseignants. Toutefois, si les enseignants ont eu la chance de pratiquer la transcription dans tous les défis, lors des analyses de schémas et lors de la comparaison de circuits, ils n'ont eu qu'une occasion, lors d'une seule activité, de réaliser une carte conceptuelle.

Propositions d'améliorations découlant de ces résultats pour la mise au point finale de la formation

Lors de la mise au point finale de la formation, davantage d'attention devrait être accordée à la carte conceptuelle. Les enseignants pourraient être invités à en réaliser

plus fréquemment, tant par rapport aux concepts en électricité que par rapport aux pratiques d'enseignement utilisées et modelées, pour qu'ils s'approprient cet outil de structuration des connaissances.

4.3.2.2.3 Cadre organisationnel

La synthèse des observations se rapportant aux hypothèses *a priori* du cadre organisationnel de la pratique d'enseignement est présentée dans cette sous-section. En concordance avec le cadre théorique, seuls les éléments découlant des théories du CC sont abordés.

Cadre organisationnel – pratiques favorisant le CC

Le tableau 4.14 montre le nombre d'occurrences pour chaque hypothèse *a priori* de chacun des groupes ainsi que la proportion d'enseignants chez qui ces pratiques relatives au cadre organisationnel ont été observées.

Tableau 4.14
Occurrences et proportion d'enseignants impliqués dans les pratiques visées par les hypothèses *a priori* associées au cadre organisationnel et documentées dans les planifications et les vidéos

Hypothèses de l'analyse <i>a priori</i> du cadre organisationnel	Groupe 1		Groupe 2	
	Planif.	Vidéos	Planif.	Vidéos
Employer du matériel de manipulation.	51 7/7	61 7/7	81 10/10	107 10/10
Accorder suffisamment de temps au CC.	7 7/7	s.o.	10 10/10	s.o.

Les résultats de chacune des hypothèses *a priori* du cadre organisationnel découlant des recherches portant sur le CC sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Employer du matériel de manipulation

Tous les enseignants ont *employé du matériel de manipulation*, ce dont témoigne le nombre d'occurrences élevé dans les planifications et les vidéos. Les enseignants ont tous distribué du matériel aux élèves pour qu'ils manipulent en équipe, ont utilisé du matériel en démonstration ou ont invité les élèves à faire des démonstrations avec du matériel à l'avant.

Un seul enseignant de chaque groupe a prévu qu'il allait à l'avenir apporter plus de *matériel de manipulation* en classe lors de l'enseignement des sciences. Le sujet 1 a indiqué qu'à la suite de la formation, il enseignerait différemment sa séquence en sciences sur les ponts : « Qu'est que je ferais différemment ? J'amènerais du matériel. »

Accorder suffisamment de temps au CC

Seules les planifications des séquences d'enseignement, échelonnées sur plusieurs périodes, ont permis d'observer cette pratique; en effet, lors de la séance filmée d'une heure, cette hypothèse *a priori* était difficilement observable, d'où la mention « sans objet » dans le tableau 4.14. Chaque enseignant a consacré plusieurs périodes à l'enseignement de l'électricité, *consentant ainsi suffisamment de temps au CC*.

Lors de l'entrevue 2, pour leur enseignement ultérieur en sciences, un enseignant du groupe 1 ainsi que quatre enseignants du groupe 2 ont prévu accorder davantage de *temps* pour demander les conceptions au départ ou pour l'apprentissage d'un concept. Le sujet 8 l'exprime ainsi : « Je prendrais aussi un bon moment pour d'autres concepts que ceux en électricité. Je me dis que ça importe peu s'ils n'ont pas vu le programme au grand complet. S'ils ont bien compris la matière enseignée, en tout cas certaines notions en sciences, ce sera au moins ça d'acquis. [...] Oui, j'accorderais plus de temps à chaque thème en sciences. » Dans les conditions favorisant

l'apprentissage des sciences, trois enseignants du groupe 2 ont également mentionné l'importance d'accorder amplement de temps à l'ensemble de la démarche.

Conclusion sur l'atteinte des apprentissages visés relatifs au cadre organisationnel – pratiques favorisant le CC

En somme, les enseignants planifient et utilisent un cadre organisationnel qui favorise le CC, en y *consentant du temps* et en *employant du matériel de manipulation*.

Propositions d'améliorations découlant de ces résultats pour la mise au point finale de la formation

La formation ne semble donc pas avoir besoin d'être modifiée en regard du cadre organisationnel puisque les enseignants ont utilisé et déclaré utiliser les pratiques qui y sont associées.

4.3.2.2.4 Les autres pratiques d'enseignement

D'autres pratiques d'enseignement importantes ont été observées et ont émergé des données. Bien que ces pratiques ne fassent pas partie des hypothèses *a priori*, elles semblent être des pistes intéressantes pour favoriser le CC et l'apprentissage des sciences en général. Elles sont retenues puisque des enseignants en ont parlé à répétition et qu'elles appartiennent à la didactique des sciences. D'autres sont mentionnées simplement parce qu'elles rappellent des pratiques particulières à l'un ou à l'autre des modèles de CC présenté dans le cadre théorique. Il nous paraît pertinent de les mentionner puisqu'elles nous semblent présenter un intérêt pour le CC. Ces pratiques induites des données sont présentées et regroupées selon les trois modalités de la pratique d'enseignement (la structuration des contenus, les processus et le cadre organisationnel).

Structuration des contenus – autres pratiques

À certains moments de la deuxième entrevue, plusieurs enseignants ont mentionné l'importance qu'ils accordent à *l'emploi du vocabulaire juste et approprié lors de l'enseignement de l'électricité* : un enseignant du groupe 1 et trois enseignants du groupe 2 ont déclaré que l'acquisition et que l'utilisation du vocabulaire propre au champ de l'électricité était un objectif poursuivi lors de l'enseignement de leur séquence en électricité; le sujet 8 l'a quant à lui mentionné comme condition favorisant l'apprentissage des sciences après la formation : « Le vocabulaire et tout ça. L'utilisation des bons termes, je pense que c'est une étape importante qu'il faut que les élèves apprennent. » De plus, en classe, les enseignants soignaient eux aussi leur vocabulaire pour être de bons modèles pour leurs élèves et reprenaient leurs élèves en classe quand le mot choisi n'était pas juste. Enfin, il est à mentionner que les enseignants ont pour la plupart planifié d'aborder les types de circuit (en série, en parallèle) et ce fut observé dans plusieurs séances filmées. La *configuration des types de circuit* a donc été partie intégrante des planifications et des séquences d'enseignement vécues par les enseignants.

Processus – autres pratiques

Dans leur bilan des apprentissages et pour leur enseignement ultérieur, quatre enseignants du groupe 1 ont déclaré qu'il importe de *diversifier les façons d'enseigner, de varier les styles d'enseignement* pour rejoindre le plus d'élèves possibles ou pour « attaquer » sous plusieurs angles les conceptions initiales parfois récalcitrantes et résistantes. Le sujet 2 l'a exprimé ainsi lors de l'entrevue 2 : « C'est important de diversifier la façon d'enseigner pour qu'ils comprennent. Il faut les mettre en action pour qu'ils changent leurs conceptions. »

Dans l'ordre d'idées d'attaquer les conceptions, des enseignants des deux groupes (trois du groupe 1 et trois du groupe 2 lors de la deuxième entrevue) ont déclaré qu'il faut *confronter les conceptions des élèves*, comme par exemple faire des contre-

exemples en démonstration. Le sujet 1 l'a exprimé ainsi lors de l'entrevue 2 : « Les démonstrations permettent de faire des contre-exemples et de partir de l'exemple erroné pour ensuite prouver qu'il est erroné. [...] C'est de confronter un peu ces conceptions-là. » Cette confrontation des conceptions rappelle la condition de l'insatisfaction du modèle de CC de Posner et ses collègues (1982).

Également, lors des deux entrevues et dans les deux groupes, cinq enseignants ont également mentionné l'importance d'*établir un bon climat dans la classe*. Giordan aborde cette idée du climat de classe dans les paramètres de son modèle allostérique (Giordan, 1998).

Le droit à l'essai et à l'erreur lors des hypothèses et lors des manipulations a été mentionné à trois reprises dans le groupe 2. De droit à l'erreur rappelle l'importance d'accorder une attention aux erreurs des élèves, lesquelles peuvent être révélatrices de conceptions initiales erronées (Astolfi, 1997). Les élèves sont d'ailleurs plus susceptibles de s'accorder le droit d'essayer dans un bon climat de classe.

Enfin, lors des séances filmées, douze des dix-sept enseignants participants ont choisi d'*employer la démonstration*, principalement *lors des retours* sur les défis. Ils l'effectuaient eux-mêmes ou demandaient à des élèves de venir à l'avant démontrer un circuit. Ces manipulations lors du retour paraissent pertinentes pour rappeler concrètement les circuits tout en abordant les explications abstraites.

Cadre organisationnel – autres pratiques

Lors de l'analyse, il a également été noté que les enseignants ont souvent fait travailler les élèves en équipe ou qu'ils ont fréquemment animé des discussions en grand groupe. Cette idée est également mentionnée par de nombreux enseignants lors des entrevues; *faire travailler les élèves en équipe ou en grand groupe*, choisir les équipiers des élèves pour favoriser les confrontations des conceptions et faire des équipes mixtes pour que les garçons et les filles se complètent, comme le mentionnait notamment le sujet 9. Comme mentionné dans le cadre théorique, les regroupements font partie du cadre

organisationnel. Le fait de faire travailler les élèves en équipe ou en grand groupe, encourageant les échanges, paraît intéressant pour privilégier le CC. En effet, la discussion fait partie des processus favorisant le CC.

4.3.2.2.5 Conclusion de la section sur les pratiques d'enseignement favorisant le CC et l'apprentissage des concepts en électricité

En conclusion, comme indiqué dans le tableau 4.15, la grande majorité des apprentissages visés par les hypothèses *a priori* ont été atteints, surtout par les enseignants du groupe 2 qui ont suivi la formation telle que planifiée après sa deuxième mise au point. Ces enseignants du groupe 2 ont utilisé toutes les pratiques favorisant le CC et presque toutes les pratiques particulières à l'enseignement de l'électricité. L'introduction de la notion de courant par l'expérimentation d'un court-circuit et la présentation d'analogies sont les deux pratiques qui n'ont pas été employées par la majorité des enseignants.

Selon les déclarations des enseignants, les pratiques acquises ont contribué à augmenter leur niveau de confiance quant à l'enseignement de l'électricité. En effet, avant la formation, il était déclaré « faible » par les enseignants du groupe 1 (ils n'ont pas employé de cote lors de la première entrevue pour ce niveau de confiance) et de 2,7/10 en moyenne par ceux du groupe 2. Après la formation, les enseignants du groupe 1 ont déclaré un niveau de confiance de 7,6/10 quant à l'enseignement de l'électricité et ceux du groupe 2, un niveau de confiance de 7,8/10. Le niveau de confiance déclaré par rapport à l'enseignement des sciences en général a également augmenté. Il est passé de 6,3/10 à 8,0/10 en moyenne chez les enseignants du groupe 1 et de 6,8/10 à 8,2/10 chez ceux du groupe 2. Certains enseignants ont donc gagné un peu de confiance en général, mais d'autres, comme le sujet 10, ont gardé le même niveau confiance : « Bien, en général, je resterais à 8-9 sur 10; je ne changerais pas de cote. »

En plus d'indiquer si les apprentissages visés ont été atteints, des recommandations pour la mise au point finale de la formation tirées de la présente section sont indiquées dans le tableau 4.15.

Tableau 4.15
Présentation de l'atteinte des apprentissages visés par les hypothèses *a priori*
concernant la pratique d'enseignement ainsi que des recommandations pour la
mise au point finale de la formation

	Hypothèses de l'analyse <i>a priori</i>	Groupe 1	Groupe 2	Recommandations
	Structuration des contenus			
CC	Amener les élèves à résoudre un problème.	✓	✓	s.o.
	Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes.	...	✓	Mettre un accent sur l'importance de la structuration des concepts en fin de cours pour aider les enseignants à dépasser les retours qui portent simplement sur les observations des montages.
	Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel.	✓	✓	s.o.
ÉLECTRICITÉ	Aborder l'idée que le circuit est un tout (et qu'il est fermé).	✓	✓	Expliciter davantage la prise en compte d'un circuit comme un tout et ce, régulièrement lors de la formation.
	Introduire la notion de courant avec l'expérimentation qui permet de sentir la chaleur d'un fil en court-circuit.	x	x	Souligner l'utilité et la pertinence de l'activité avec un fil qui chauffe pour aborder le courant et employer un morceau de nichrome.
	Débuter avec la notion de courant.	x	✓	s.o.
	Aborder ensuite la notion de résistance.	x	✓	s.o.
	Aborder en dernier lieu la notion de tension.	x	✓	s.o.
	Enseigner selon une progression de concepts, par étapes, par petits pas.	✓	✓	s.o.
	Utiliser des analogies en fin d'apprentissage, en soulignant leurs limites et en aidant les élèves à comprendre les composantes isomorphes.	x	...	Approfondir l'activité portant sur les analogies possibles en électricité.

Processus				
CC	Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions.	✓	✓	s.o.
	Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant).	✓	✓	Expliciter les différentes intentions possibles de l'emploi de la discussion (discussion divergente ou convergente; discussion concrète et descriptive ou abstraite et conceptuelle).
ÉLECTRICITÉ	Employer l'expérimentation.	✓	✓	s.o.
	Utiliser un enseignement constructiviste.	✓	✓	s.o.
	Faire faire aux élèves une interprétation qualitative des circuits montés ou du récit qu'un texte peut en faire.	...	✓	s.o.
	Inciter les élèves à expliquer et interpréter les phénomènes électriques peu importe la représentation proposée.	...	✓	s.o.
	Pour aider les élèves à structurer leurs idées, utiliser des cartes conceptuelles, des schémas ou l'association de termes.	✓	✓	Accorder davantage d'attention à la carte conceptuelle; prévoir plus d'occasions d'en réaliser.
Cadre organisationnel				
CC	Employer du matériel de manipulation.	✓	✓	s.o.
	Accorder suffisamment de temps au CC.	✓	✓	s.o.

Légende : ✓ : La grande majorité des enseignants a utilisé ou déclaré utiliser cette pratique et beaucoup d'occurrences en témoignent.
 ... : Une majorité d'enseignants ont utilisé ou déclaré utiliser cette pratique, avec peu d'occurrences.
 x : Moins de la majorité des enseignants a utilisé ou déclaré utiliser cette pratique.

Enfin, quelques pratiques d'enseignement ont émergé des données et paraissent intéressantes pour favoriser le CC ou l'apprentissage en sciences. Ces propositions se trouvent dans le tableau 4.16.

Tableau 4.16
Propositions d'autres pratiques d'enseignement pouvant favoriser le CC ou l'apprentissage en sciences

Structuration des contenus
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Employer le vocabulaire juste et approprié au champ de l'électricité;</i> - <i>Aborder la configuration des différents types de circuits.</i>
Processus
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Diversifier les façons d'enseigner, varier les styles d'enseignement;</i> - <i>Confronter les conceptions des élèves;</i> - <i>Établir un bon climat dans la classe;</i> - <i>Permettre le droit à l'essai et à l'erreur;</i> - <i>Employer la démonstration lors des retours.</i>
Cadre organisationnel
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Faire travailler les élèves en équipe ou en grand groupe.</i>

4.4 Résultats de l'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace (OS3)

Dans cette section, les paramètres d'une formation efficace sont passés en revue afin de vérifier s'ils ont effectivement été opérationnalisés dans la formation. Les résultats de cette section répondent donc à *Opérationnaliser les paramètres d'une formation efficace dans le cadre du développement d'une formation portant sur le CC en électricité (OS3)*.

Tout d'abord, ces paramètres ont été pris en considération lors de la conception du dispositif de formation initial. Les grandes lignes de l'opérationnalisation des paramètres pour la conception de la formation seront présentées afin de présenter dans quelle mesure ils ont été respectés. Également, les commentaires des enseignants recueillis lors des entretiens de groupe et lors de l'entrevue 2 seront présentés pour vérifier si, selon leur point de vue, les paramètres étaient reflétés par la formation. Les résultats de cette section seront organisés par paramètre de la formation efficace

(Blank et de las Alas, 2010; Joyce et Showers, 2002). Le cas échéant, pour chaque paramètre, les remarques ainsi que les indications pour la mise au point finale de la formation sont indiquées.

4.4.1 Aborder un contenu en précisant la théorie qui le sous-tend

Le paramètre *Aborder un contenu en précisant la théorie qui le sous-tend* a été pris en compte tant pour le contenu spécifique aux concepts en électricité que pour celui propre aux pratiques d'enseignement favorisant le CC. Cela s'illustre dans le dispositif de formation et dans les déclarations des enseignants. Ces derniers ont aussi soulevé quelques points à travailler qui permettront d'améliorer la formation pour sa mise au point finale.

4.4.1.1 Aborder un contenu en précisant la théorie qui le sous-tend - dans la conception et le vécu de la formation

Le paramètre *Aborder un contenu en précisant sa théorie* a été opérationnalisé afin que les enseignants n'apprennent ni des concepts en électricité par cœur, sans les comprendre, ni des pratiques d'enseignement comme des techniques miracles à appliquer de manière automatique. Ainsi, la chercheure-formatrice se souciait de la compréhension qualitative des concepts ainsi que du sens des pratiques d'enseignement lors de la formation.

Le plus d'occasions possibles ont été créées pour discuter des concepts en électricité à partir des montages réalisés ou vus dans les activités. L'interprétation qualitative était souvent sollicitée auprès des enseignants au cours des activités et lors des retours. L'intention de les inciter à interpréter s'est concrétisée par un accompagnement pour qu'ils passent de l'observable au conceptuel, soit du concret à l'abstrait. Entre autres, lors des défis électriques, un retour a été planifié pour discuter de l'interprétation qualitative du courant. Aussi, lors de l'analyse d'images de circuit, l'intensité

lumineuse était un prétexte pour parler de la tension, des résistances, du courant et des relations entre ces concepts.

Pour rendre explicites les pratiques favorisant le CC, une présentation des modèles de CC et des conceptions initiales erronées fréquentes en électricité a été planifiée et vécue pour que les enseignants comprennent les fondements qui se trouvent derrière les pratiques modelées et employées par la formatrice.

4.4.1.2 *Aborder un contenu en précisant la théorie qui le sous-tend – les déclarations des enseignants*

Les entretiens de groupe et quelques questions de l'entrevue 2 ont permis aux enseignants de s'exprimer sur le contenu de la formation. Les résultats seront présentés selon les contenus en électricité et selon ceux des pratiques favorisant le CC. Pour chacun, les points positifs ainsi que les points à travailler mentionnés par les enseignants sont indiqués. Au fur et à mesure, des notes concernant la mise au point finale de la formation sont indiquées.

Les concepts en électricité

Points positifs

La manipulation et l'emploi d'un vocabulaire précis et spécifique à l'électricité ont été appréciés, car ils ont contribué à la compréhension des enseignants. Ces derniers ont estimé nécessaires et utiles les manipulations et l'emploi d'un vocabulaire juste. En effet, les enseignants ont apprécié manipuler dès la première rencontre. Le sujet 2 a exprimé cette idée en déclarant que cette partie était nécessaire et concrète. Ces manipulations ont créé des occasions de nommer les composantes du matériel (de faire l'analyse technique d'une ampoule, par exemple) et d'employer un vocabulaire juste pour aborder les concepts. Le sujet 3 a d'ailleurs mentionné que l'emploi de vocabulaire précis et spécifique à l'électricité a contribué à consolider ses connaissances.

Plusieurs activités ont été mentionnées comme bienvenues pour favoriser la compréhension du contenu en électricité. Les enseignants des deux groupes ont déclaré que les activités d'analyse d'images de circuit (le diaporama d'images de circuits vrais ou faux ainsi que celui des images de circuits vrais) ont permis de consolider les apprentissages des concepts, de revenir sur l'interprétation des circuits, de conclure et de s'assurer d'avoir bien compris. Trois sujets du groupe 2 ont souligné que l'activité avec la carte conceptuelle est utile. Un sujet du groupe 2 a mentionné avoir apprécié les analogies. Finalement, lors de l'entretien de groupe, les enseignants du groupe 1 ont dit être d'accord avec le choix de la chercheure-formatrice de retirer de la formation l'activité très exploratoire avec les moteurs et les dispositifs sonores étant donné que cette activité avait plus causé de confusion que de compréhension. Le sujet 1 a ajouté qu'en effet, même le retour subséquent avec le multimètre n'avait pas permis de tout comprendre.

Enfin, selon le sujet 15, le contenu était, de façon générale, bien ciblé et selon le sujet 13, les activités étaient adaptées et s'enchaînaient bien.

Points négatifs et à améliorer

Deux sujets du groupe 2 ont mentionné qu'au tout début, les défis électriques et la familiarisation avec le matériel ont été difficiles. Quelques sujets ont déclaré avoir rencontré des difficultés lors des défis. Le sujet 9 a trouvé qu'il y avait un « gros saut » entre les défis 3 et 4 où ils doivent passer d'un circuit en série à un circuit en parallèle avec des interrupteurs. Selon ce sujet, il s'agit d'une introduction trop rapide du circuit en parallèle. Le sujet 11 a quant à lui trouvé le dernier défi électrique du jour 1 difficile, celui où la solution du défi est de mettre deux interrupteurs en parallèle pour que l'un ou l'autre ou les deux permettent d'allumer l'ampoule du circuit. Enfin, pour le sujet 14, qui connaissait quelques notions en électricité avant la formation, les défis électriques ont été trop faciles et l'interprétation du courant que la chercheure-formatrice lui a proposé d'effectuer était pour lui une évidence et une

tâche ennuyante. Dans la version finale de la formation, les bonds entre les défis gagneraient donc à être ajustés et une différenciation pour les enseignants plus à l'aise et plus rapides devrait être prévue.

Deux sujets du groupe 1 ont mentionné combien ils ont été confus lors de l'activité exploratoire avec le moteur et le dispositif sonore. Notamment, ils ne comprenaient pas pourquoi l'ampoule en série avec le moteur n'allumait plus et ils ont mentionné que le retour avec le multimètre a aidé, mais qu'il n'a pas résolu complètement la confusion. Le sujet 2 a précisé que le plus compliqué pour lui lors de ce retour a été le concept des résistances; il avait parfois l'impression de comprendre, mais les remarques des autres le rendait confus, ce qui fait qu'il pensait finalement ne pas avoir compris. Le sujet 1 a quant à lui déclaré qu'il se sent limité dans sa connaissance du voltage et de l'ampérage malgré, encore une fois, le retour avec le multimètre. Ces déclarations justifient le retrait de cette activité de la formation mise à l'essai avec le groupe 2.

Lors de l'entretien de groupe, le sujet 3 a indiqué se demander comment la pile s'épuise et que ce concept n'est pas complètement acquis. Cela indique que le sujet est conscient de ne pas avoir bien compris ce concept. Cette incompréhension est d'ailleurs visible dans les résultats de la section 4.3.1 de la thèse. Ainsi, dans le cadre de la version finale de la formation, la pile et la tension pourraient être davantage abordées lors des activités en électricité.

Dans le groupe 2, l'activité d'analyse où les enseignants devaient comparer des circuits selon des observations bien ciblées a été plus difficile vers la fin. Les comparaisons étaient en effet de plus en plus difficiles. Le sujet 8 et plusieurs enseignants du groupe 2 trouvent que la dernière comparaison des analyses de circuits, celle où l'on compare des circuits où les deux ampoules sont différentes, est particulièrement difficile à comprendre. Ils ne comprenaient pas complètement pourquoi la grosse ampoule allumait plus que la petite ampoule en série. Ils déplorent ne pas avoir pu en reparler dans d'autres activités par la suite (il s'agit de la dernière

activité avant le projet de conception de la maquette) et que ce ne fut pas assez approfondi. Ainsi, dans la version finale de la formation, cette activité devrait soit être approfondie par une autre activité dans un autre contexte ou dans les contraintes de la conception de la maquette, soit simplement retirée si la formation est trop surchargée pour le temps disponible. Ce retrait peut être envisagé puisque la compréhension des enseignants est poussée au-delà du minimum nécessaire à leur enseignement de l'électricité. En effet, la compréhension de cette comparaison n'est pas essentielle pour leur enseignement au primaire. Avec les autres activités de la formation, ils vont déjà au-delà des concepts au programme.

Quelques déclarations des enseignants laissent supposer qu'ils n'ont pas compris l'utilité de la carte conceptuelle telle qu'elle a été vécue dans la formation. Ils ont proposé des suggestions d'améliorations afin que son emploi ait plus de potentiel. Le sujet 14 a déclaré trouver que la carte conceptuelle a lieu d'être, mais que le retour équipe par équipe pourrait être retiré étant donné qu'il est redondant. Le sujet 6 avait fait le même constat. En effet, tous les enseignants recevaient les mêmes quelques mots à placer, alors chaque carte revenait au même. Le sujet 8 a dit qu'il aurait préféré que les mots ne soient pas donnés, ce qui aurait été plus ouvert en permettant une diversité de réponses possibles. Cela lui aurait permis de se faire une carte conceptuelle synthèse pour lui-même et originale. De cette façon, un retour équipe par équipe serait davantage justifié et enrichissant pour tous les enseignants participants. Cette formule pourrait être retenue pour mise au point finale de la formation.

Un sujet du groupe 1 n'a pas trouvé profitable les analogies. Le sujet 3 a en effet confié qu'il ne voyait pas la pertinence de l'analogie de la roue de bicyclette ni celle du train et qu'il préférerait celle qu'il connaissait déjà, soit celle des tuyaux remplis d'eau. Les analogies paraissent essentielles pour aborder les concepts d'un niveau d'abstraction comme ceux de l'électricité, mais leur utilité ainsi que leurs limites

pourraient être davantage abordées dans la version finale de la formation pour convaincre d'éventuels sceptiques comme le sujet 3.

Les pratiques d'enseignement favorisant le CC

Point positif

Lors de l'entretien de groupe, le sujet 10 a déclaré que le diaporama présenté lors de la quatrième rencontre est pertinent, car il permet de mettre des mots sur les conceptions initiales que les élèves peuvent avoir par rapport aux concepts en électricité et sur les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC.

Points négatifs et à améliorer

Trois sujets du groupe 1 ont mentionné lors de l'entretien de groupe qu'ils ont eu du mal à se concentrer pendant l'exposé sur les modèles de CC et sur les conceptions initiales fréquemment trouvées chez les élèves. Le sujet 5 a précisé qu'il sentait que cette présentation était importante, mais que « ça ne lui parlait pas. » Toute cette partie sur le CC et les conceptions était très concentrée dans l'activité où le diaporama était présenté. La présentation, formelle et avec un diaporama dans le but de communiquer aux enseignants les théories derrière les pratiques favorisant le CC, ne rejoint pas tous les enseignants. Les activités vécues lors de la formation ou l'essai de leur séquence d'enseignement en électricité pourraient être des occasions concrètes à saisir pour échanger de façon interactive à propos des pratiques favorisant le CC. Également, présenter chaque modèle de CC ne paraît pas nécessaire; une synthèse très générale pourrait suffire et être stimulante pour les enseignants. Lors de la mise au point finale de la formation, la façon d'aborder la théorie du CC doit être repensée afin d'être moins magistrale.

Une autre activité permettait aux enseignants d'identifier les pratiques que la formatrice avait modelées tout au long de la formation pour favoriser leur propre CC par rapport aux concepts en électricité. Cette activité consistait en une réflexion mise

par écrit sur les pratiques que les enseignants avaient remarquées chez la formatrice. Le sujet 10 a mentionné lors de l'entrevue 2 qu'il aurait souhaité avoir plus de temps pour approfondir la formalisation des pratiques qui permettent de changer les conceptions des enfants (il y avait une seule activité, accompagnée par un document d'une page). En lien avec le commentaire précédent sur la présentation trop formelle, il serait pertinent de planifier régulièrement des discussions ou des activités pendant la formation pour aborder les pratiques plutôt que de seulement compter sur la présentation magistrale et sur un seul retour sur les pratiques modelées par la formatrice.

4.4.1.3 Conclusion sur le paramètre *Aborder un contenu ainsi que la théorie qui le sous-tend*

Ce paramètre a été considéré et opérationnalisé lors de la conception de la formation et de nombreux commentaires positifs ont été formulés par les enseignants quant à son respect. Certains contenus d'activités pourraient tout de même être planifiés différemment pour respecter davantage ce paramètre. D'abord, lors de la mise au point finale de la formation, les bonds entre les défis gagneraient à être ajustés et une différenciation pour les enseignants plus à l'aise devrait être prévue. De plus, la pile et la tension pourraient être davantage approfondies lors des activités en électricité. L'activité de comparaison avec les deux ampoules différentes pourraient être approfondie et réexploitée plus tard dans la formation ou encore, retirée. Les mots de la carte conceptuelle pourraient ne pas être fournis aux enseignants de façon à ce qu'ils créent des cartes conceptuelles originales. L'utilité et les limites des analogies pourraient être davantage abordées. Enfin, la théorie sous-jacente aux pratiques favorisant le CC pourrait être vue davantage à partir des activités vécues lors de la formation. Par exemple, après les activités impliquant des manipulations, la formatrice pourrait demander quelles pratiques elle a employées et quelle était son intention à propos du CC en les employant.

4.4.2 Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation

Le paramètre *Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation* a été pris en compte dans les activités de la formation; les enseignants étaient continuellement sollicités par des expérimentations et des discussions dans lesquelles ils devaient activement s'impliquer. Cela s'illustre dans le dispositif de formation et dans les déclarations des enseignants. Ces derniers ont aussi soulevé quelques points à travailler qui permettront d'améliorer la formation pour sa mise au point finale.

4.4.2.1 *Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation - dans la conception et le vécu de la formation*

Dans la formation, les activités ont été élaborées de façon à impliquer activement les enseignants. Lors des apprentissages en électricité, ils ont notamment eu à résoudre eux-mêmes des défis électriques, en effectuant des manipulations, à construire une maquette d'une pièce de la maison en respectant diverses contraintes ou à monter des circuits dans le but de les comparer. Pour l'apprentissage des pratiques d'enseignement favorisant le CC et pour l'enseignement de l'électricité, ils ont dû rédiger leur propre planification pour organiser à leur façon les activités de leur séquence d'enseignement et pour réfléchir aux pratiques qu'ils allaient employer en classe. L'application finale fut de vivre cette séquence avec leurs élèves, en classe, tout en étant accompagnés par la chercheure-formatrice pendant une période d'environ une heure.

4.4.2.2 *Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation - les déclarations des enseignants*

Les entretiens de groupe et quelques questions de l'entrevue 2 ont permis aux enseignants de s'exprimer sur les activités de la formation et sur leur implication. Les résultats de ce paramètre seront présentés selon les contenus en électricité et selon les

pratiques favorisant le CC. Pour les concepts en électricité, les points positifs ainsi que les points à travailler mentionnés par les enseignants sont indiqués; pour les pratiques favorisant le CC, seuls des points positifs ont été abordés. Au fur et à mesure, des notes concernant la mise au point finale de la formation sont indiquées.

Les concepts en électricité

Points positifs

Les enseignants des deux groupes ont dit avoir apprécié manipuler et essayer par eux-mêmes les activités. Ce constat a été mentionné dans les deux entretiens de groupe. Le sujet 1 a précisé que de manipuler lui a permis de savoir enseigner les contenus en électricité par la suite. De plus, il s'est dit que comme il aimait manipuler et que de manipuler lui donnait confiance, alors ses élèves aimeraient manipuler aussi. Le sujet 2 a confié que de manipuler lui a permis à la fois d'apprendre les concepts et d'avoir des activités pour les élèves. Le sujet 5 a quant à lui indiqué que de vivre toutes les activités lui a permis de juger au fur et à mesure s'il allait les réaliser ou non avec ses élèves par la suite. Enfin, deux sujets (le sujet 1 et le sujet 12) ont déclaré avoir apprécié travailler individuellement avec leur matériel pour certaines activités, ce qui leur permettait de prendre leur temps et aller à leur rythme. Le sujet 12 a beaucoup apprécié réaliser les activités comme des élèves plutôt que de se faire dire comment tout brancher. Les commentaires des enseignants témoignent donc d'une bonne opérationnalisation de l'homomorphisme entre les activités de la formation et celles que les enseignants pourraient par la suite réaliser avec leurs élèves (Astolfi et al., 1997a).

Points négatifs et à améliorer

Le sujet 7 a dit avoir été très stressé par les défis électriques de la première rencontre. Il voyait les autres les relever plus vite que lui et il n'aimait pas devoir attendre pour obtenir l'homologation. Cette situation le bloquait et l'empêchait de se concentrer et

il a dit qu'il se sentait « niaiseux ». Il a dit que de vivre cette expérience déstabilisante lui a fait réaliser qu'il ne voulait pas que ses élèves vivent cela, alors il a donné à ses élèves seulement deux défis à la fois. Il avait été si découragé lors de la première séance qu'il avait failli abandonner la formation. Cette expérience qui en fait correspond à l'homomorphisme de l'expérience vécue comme apprenant par l'enseignant n'a donc pas été confortable, mais avec le recul, l'expérience a eu un impact positif pour son propre enseignement avec ses élèves. En effet, ce sujet s'est dit qu'il ne voulait pas que ses élèves se sentent ainsi et qu'il allait leur proposer que deux défis électriques à la fois.

Les pratiques d'enseignement favorisant le CC

Points positifs

La planification pendant les rencontres de formation a été appréciée. Pour les enseignants du groupe 1, le temps prévu pour planifier pendant la formation était bienvenu et serait suffisant pour un contexte autre que celui de la recherche (qui exigeait d'eux une planification à l'ordinateur, assez détaillée, plus détaillée que s'ils avaient eu à se l'écrire pour eux-mêmes). Planifier leur permettait de bien prévoir et visualiser ce qu'ils allaient enseigner. Le sujet 6 a dit que de planifier tant en détails lui a permis de bien parler des conceptions avec ses élèves. Lors de l'entrevue 2, le sujet 10 a confié avoir apprécié qu'il puisse planifier une séquence, et que la formation soit pratique et non que théorique.

Aussi, tel que mentionné plus tôt, pratiquer soi-même a permis d'anticiper les difficultés des élèves. En effet, le sujet 7 a exprimé qu'il a fait le parallèle entre les difficultés à comprendre les concepts qu'il a vécues lui-même lors des activités de la formation à cause de son déficit d'attention diagnostiqué et ce que ses élèves pourraient vivre. Ainsi, vivre des activités favorisant le CC a permis d'anticiper les obstacles que les élèves pourraient rencontrer. Encore une fois, l'homomorphisme des activités de la formation avec celles que les élèves allaient vivre a été enrichissant pour cet enseignant ainsi que pour ses collègues puisque ce partage a fait réaliser à

d'autres enseignants que leurs élèves pourraient vivre des difficultés. En effet, des enseignants ont mentionné ce constat lors de l'entretien de groupe.

Enfin, les enseignants du groupe 1 ont déclaré lors de l'entretien de groupe qu'ils ont trouvé que la réalisation du projet de la maquette d'une pièce de la maison par eux-mêmes était du temps bien investi. Ils ont ajouté que c'était nécessaire pour ensuite être capable de guider les élèves, que c'était bien de l'essayer, que c'était concret et qu'ils auraient voulu construire la maquette avant de l'animer en classe de toutes façons. Ils étaient d'avis qu'il vaut mieux le faire en groupe pendant la formation.

4.4.2.3 Conclusion pour le paramètre *Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation*

Selon les résultats présentés, ce paramètre a été opérationnalisé dans la formation développée. Les enseignants ont pratiqué et ont constaté comment ils allaient pouvoir transposer les activités auprès de leurs élèves. Néanmoins, une façon de différencier les défis électriques devrait être envisagée pour la version finale de la formation pour proposer des défis à la fois accessibles et d'un bon niveau à tous les enseignants participants, leur permettant d'apprendre tout en se sentant confortables, stimulés et motivés. Une gestion différente de l'homologation pourrait aussi être envisagée.

4.4.3 Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs

Le paramètre *Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction par les pairs* a été pris en compte dans les activités de la formation; la chercheure-formatrice encadrait les enseignants lors de la formation et leur donnait de la rétroaction et les enseignants avaient de nombreuses occasions d'interagir et de collaborer. Cela s'illustre dans le dispositif de formation et dans les déclarations des enseignants. Ces derniers ont aussi soulevé quelques points à travailler qui permettront d'améliorer la formation pour sa mise au point finale.

4.4.3.1 *Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs – dans la conception et le vécu de la formation*

Le paramètre *Favoriser un encadrement, une collaboration et la rétroaction par les pairs* a été opérationnalisé par les relations entre la formatrice et les enseignants ainsi que par les relations que les enseignants ont développées entre eux et ce, à divers moments et de différentes façons. Dans la formation, les enseignants ont souvent été amenés à travailler en équipe. Notamment, ils ont réalisé en équipe des expérimentations en électricité et ont collaboré lors de la planification. De nombreuses discussions de groupe ont également été menées. Ces types d'échanges permettaient aux enseignants de mutuellement se donner de la rétroaction. La formatrice a quant à elle assuré un encadrement et de la rétroaction; elle proposait les activités, animait les discussions en groupe, répondait aux questions des enseignants pendant les travaux d'équipe, leur soumettait des questions et commentait leurs interprétations pour stimuler leur compréhension.

4.4.3.2 *Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs – déclarations des enseignants*

Les déclarations des enseignants illustrent que ce paramètre a été opérationnalisé lors de la formation. Leurs commentaires sont très positifs. Il semble que ce paramètre est l'un de ceux qui a donné beaucoup de valeur à la formation aux yeux des enseignants. Les déclarations sont regroupés en deux grands thèmes : la collaboration et la rétroaction entre enseignants ainsi que l'encadrement et la rétroaction de la formatrice. Les enseignants n'ont mentionné que des points positifs à propos des échanges entre eux; pour l'accompagnement de la part de la formatrice, il y a des points positifs et des points à améliorer.

La collaboration et la rétroaction entre enseignants

Ce thème est subdivisé selon divers types et moments d'interaction. Rappelons qu'il n'y a eu que des commentaires positifs de la part des enseignants.

Points positifs

Échanges d'idées lors de la planification. Les enseignants ont trouvé fort enrichissants les échanges entre eux lors de la planification. Le sujet 7 a beaucoup apprécié planifier avec le groupe complet, séparer le travail et collaborer avec les enseignants (partager des idées, des documents). Cette collaboration et les idées de chacun ont enrichi son travail. Il a dit qu'autrement, sans cette occasion de collaborer, il serait resté dans son confort et sa façon de faire. Le sujet 3 a appuyé cette appréciation du travail en collaboration. Lors de l'entrevue 2, ce sujet a lui aussi mentionné que de planifier en équipe l'a aidé à pousser plus loin, à enrichir ce qu'il aurait fait seul et à mieux se structurer séquentiellement dans la démarche. Les échanges lors de la planification sont donc bien perçus et enrichissants pour les enseignants. De plus, malgré ce partage, les enseignants finissent quand même par garder leur individualité et par adapter les idées communes tant dans leur planification que dans leur enseignement, tel que constaté lors de l'analyse des planifications et des vidéos.

Travailler en équipe. Pour le sujet 7, l'élément le plus profitable de la formation a été de travailler en équipe avec le sujet 5. Les enseignants du groupe 2 ont également apprécié travailler en équipe et ont précisé que c'était bien de faire une formation multiécole, de troisième cycle seulement. Cela a effectivement favorisé des échanges pertinents, non seulement entre enseignants de même cycle, mais aussi, ce qui survient rarement, avec des collègues de la commission scolaire qu'ils ne connaissaient pas auparavant. Lors de l'entrevue 2, les sujets 10 et 12 ont reparlé de leur appréciation d'avoir travaillé en équipe ainsi que d'avoir échangé en équipe et en groupe.

Partage de façons d'apprendre. Le sujet 2 a déclaré avoir apprécié voir les différents styles d'apprentissage chez les enseignants lors de la formation. En effet, certains avaient tendance à manipuler directement, d'autres à réfléchir avant de manipuler,

d'autres avaient besoin de dessiner; certains comprenaient plus spontanément les schémas, d'autres, les images. Le sujet 2 a dit que ce constat l'a amené à penser qu'il enseigne selon ce qui lui correspond comme apprenant et qu'il enseigne donc toujours un peu de la même façon et ce sans tenir compte des différentes façons d'apprendre. Il faisait référence au fait qu'il se trouve visuel et qu'il a surtout tendance à employer des éléments visuels avec ses élèves. Ainsi, vivre les activités et regarder comment les autres les réalisaient lui a permis de se questionner sur son propre enseignement et de penser à l'ouvrir. Dans ce cas, l'homomorphisme entre les activités de la formation et celles proposées par la suite aux élèves a favorisé un changement et une ouverture à d'autres pratiques pour sa classe.

Les échanges. Les échanges entre les enseignants ont favorisé la compréhension des concepts. Lors de l'entretien de groupe, le sujet 8 a dit apprécier avoir la chance de verbaliser à propos des circuits et des concepts ainsi que d'écouter les autres (pendant les comparaisons, par exemple). Il trouvait que cette verbalisation favorisait la compréhension.

Le partage de réactions a également été bénéfique à d'autres. Par exemple, les sujets 1 et 6 ont aimé que le sujet 7 confie en cours de formation qu'il était déstabilisé. Le sujet 1 a indiqué qu'il n'a pas vécu de difficulté, mais que la difficulté énoncée par le sujet 7 pendant la formation lui a fait penser que ses élèves pourraient en vivre.

Enfin, le sujet 16 a indiqué avoir aimé que le groupe soit petit (dix enseignants). Un petit groupe favorise en effet les échanges avec tous les autres enseignants participants et chacun peut aisément avoir un tour de parole.

Mini-colloque après l'essai en classe. Lors de la dernière rencontre, les enseignants ont chacun raconté comment ils avaient vécu leur séquence d'enseignement avec leurs élèves. Les enseignants du groupe 2 ont mentionné avoir beaucoup aimé cet échange de récits de pratique. Ils ont dit qu'ils ont appris des autres et qu'ils allaient

utiliser ce qu'ils ont entendu pour bonifier leur propre séquence ou même pour dire aux élèves que la formation pour laquelle ils s'absentent leur permet d'échanger avec d'autres enseignants.

L'encadrement et la rétroaction de la formatrice

Les points présentés seront divisés selon l'accompagnement effectué pendant la formation et selon celui effectué en classe. Il y a des points positifs et négatifs.

Points positifs

Accompagnement de la formatrice en classe. Quelques enseignants ont mentionné lors de l'entretien de groupe qu'ils ont apprécié la visite de la formatrice en classe. Le sujet 5 a particulièrement aimé que la formatrice puisse répondre à des questions auxquelles il n'était pas apte à répondre et se faire confirmer l'emploi d'un mot de vocabulaire dans l'échange avec la formatrice après la captation vidéo. Le sujet 4 a quant à lui aimé pouvoir discuter avec la formatrice à la suite de son cours de sciences pour faire un retour sur la période. Enfin, les sujets 10 et 15 du groupe 2 ont déclaré avoir apprécié cet accompagnement en classe qui était nécessaire pour savoir s'ils étaient sur la bonne voie et pour avoir de l'aide pendant l'activité. Le sujet 11 aurait même souhaité que la formatrice puisse les accompagner en classe plus souvent et que cette unique visite lui avait donné confiance.

Accompagnement de la formatrice pendant la formation. Enfin, comme l'a mentionné le sujet 5, il a été apprécié que la formatrice circule, qu'elle pose des questions et qu'elle demande s'ils avaient pensé à telle chose pendant la réalisation des diverses activités lors de la formation. Ce sujet a dit s'être senti soutenu quand il avait des questions.

Points négatifs et à améliorer

Accompagnement de la formatrice en classe. L'accompagnement en classe n'a pas

été apprécié par tous les enseignants. Certains ont ressenti un stress : le sujet 3 était stressé car il espérait que la formatrice voit ce qu'elle cherche et qu'elle soit satisfaite de la captation vidéo. Le sujet 2 a dit que de son point de vue, la visite en classe était seulement dans l'intérêt de la recherche menée par la formatrice et que cela l'a rendu plus anxieux qu'autre chose. Les sujets 13 et 14 ont également davantage perçu le côté recherche de cette visite que le côté accompagnement. Le sujet 3 cultivait le souci de savoir si la séance allait répondre aux attentes de la formatrice. Le sujet 1 se sentait évalué.

Bien que la formatrice prenait toujours la peine de dire aux enseignants et aux élèves d'agir comme à leur habitude, cet avertissement n'a pas suffi à apaiser tous les enseignants. Il semble néanmoins que l'accompagnement en classe soit justifié, car bénéfique pour certains. Lors de la mise au point finale de la formation, il pourrait être prévu de présenter plus clairement à chaque enseignant les bienfaits de cet accompagnement lors de la prise de rendez-vous pour la visite en classe.

4.4.3.3 Conclusion du paramètre *Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction par les pairs*

Ce paramètre a été opérationnalisé dans la formation selon les résultats présentés dans cette section. Pour l'améliorer, la pertinence et les bienfaits de l'accompagnement de la formatrice en classe pourraient être explicités davantage afin que les enseignants ne vivent pas cette visite comme une situation stressante.

4.4.4 Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées

L'intérêt de ce paramètre est que la formatrice ou le formateur modèle les pratiques, c'est-à-dire qu'il doit agir comme il invite les enseignants à le faire. Il doit être un exemple et se mettre dans la peau d'un enseignant pendant que les enseignants se mettent dans la peau de l'élève. La formatrice modèle ainsi les pratiques visées en les utilisant elle-même lors des activités d'apprentissage des enseignants.

4.4.4.1 *Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées – dans la conception et le vécu de la formation*

Comme mentionné précédemment, la formatrice a modelé comment enseigner l'électricité et a employé les pratiques favorisant le CC avec les enseignants lors des différentes activités. La formatrice a elle-même employé les pratiques favorisant le CC et avait l'intention de représenter un modèle par sa façon de répondre aux questions, d'interagir avec les participants et de donner de la rétroaction lors des expérimentations.

4.4.4.2 *Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées – les déclarations des enseignants*

Des déclarations effectuées quant à ce paramètre sont en lien avec les concepts en électricité et les pratiques favorisant le CC.

Les concepts en électricité

Point positif

Les enseignants des deux groupes ont beaucoup apprécié que la formatrice les incite à manipuler au cours de la formation. Ils ont déclaré que de relever les défis électriques et de construire leur maquette d'une pièce de la maison leur ont appris comment enseigner ces activités et que les essayer était nécessaire pour ensuite être capables de guider leurs élèves.

Points négatifs et à améliorer

Évidemment, certaines des difficultés de gestion vécues lors de la formation ont été senties et critiquées par les enseignants. La difficulté majeure rencontrée par la formatrice fut l'homologation et la disponibilité pour répondre aux questions lors de la réalisation des défis électriques. Plusieurs enseignants n'ont pas aimé attendre et ne trouvaient pas qu'ils pouvaient transférer telle quelle cette façon de piloter cette

activité. Les enseignants du groupe 2 ont suggéré de prévoir des arrêts pour faire des retours à tous les deux ou trois défis ainsi que de planifier des défis supplémentaires pour ceux qui finissent rapidement. À cet égard, le sujet 6 a clairement mentionné qu'il aurait aimé savoir quoi proposer à ses élèves plus forts.

Lors de la mise au point finale de la formation, plus de retours pourraient être prévus pour ponctuer d'arrêts la résolution des défis électriques. De plus, des défis supplémentaires et des indices pourraient être prévus pour différencier les défis.

Les pratiques d'enseignement favorisant le CC

Point positif

Lors de l'entretien de groupe, le sujet 6 a dit avoir aimé apprendre sur les façons d'enseigner l'électricité. Le sujet 10 a clairement mentionné lors de l'entrevue 2 que « le modelage était bon et [qu'il] l'a aidée à créer leur trousse clé en main ». Ce sujet a même dit s'être surpris à imiter comment la formatrice a agi à son égard avec ses propres élèves.

4.4.4.3 Conclusion pour le paramètre *Être cohérent entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et modeler les habiletés visées*

Selon les résultats présentés, ce paramètre a été opérationnalisé. Afin d'améliorer la formation, les défis électriques pourraient être ponctués d'arrêts pour effectuer des retours sur les défis complétés et sur les concepts associés. De plus, des indices ainsi que des défis supplémentaires pourraient être prévus pour la différenciation.

4.4.5 Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé

Ce paramètre a été opérationnalisé dans la formation et quelques commentaires positifs et négatifs ont été recueillis à son propos.

4.4.5.1 *Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé – dans la conception et le vécu de la formation*

Comme mentionné dans le cadre théorique, généralement, les durées et les fréquences de rencontres de formation sont très diversifiées et étendues. Compte tenu du contenu ciblé sur le CC en électricité et étant donné le cadre des mises à l'essai en collaboration avec les commissions scolaires, six rencontres d'une demi-journée ont été fixées dont cinq étaient très rapprochées dans le temps à raison de deux rencontres par semaine. Cette fréquence a été choisie afin que les enseignants aient facilement en tête le contenu de la rencontre précédente et pour leur éviter d'avoir à faire des révisions, des lectures ou des devoirs en dehors des séances de formation. La sixième rencontre avait été prévue environ un mois après la cinquième rencontre pour donner le temps aux enseignants de vivre avec leurs élèves la séquence d'enseignement qu'ils avaient planifiée et pour ensuite être en mesure d'en discuter lors de la sixième rencontre.

Afin que les enseignants soient éveillés et pour faciliter la gestion des horaires qui varient d'une école de provenance à l'autre, les rencontres ont toutes été effectuées en avant-midi sauf une, dans le groupe 1, à cause d'une contrainte de disponibilité du local de formation.

4.4.5.2 *Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé – déclarations des enseignants*

Points positifs

Il semble que l'investissement de temps accordé à la formation en valait la peine pour les enseignants. Par exemple, le sujet 2 n'avait pas l'impression de perdre son temps étant donné que ce n'étaient pas que des connaissances théoriques, mais des contenus pratiques. Les enseignants du groupe 1 ont trouvé que « ça coulait bien » de se voir à six reprises, à une fréquence de deux fois par semaine pour les cinq premières rencontres. Ils ont toutefois déclaré que la dernière rencontre aurait pu être tenue plus

tard pour leur donner plus de temps pour vivre l'ensemble de leur séquence d'enseignement avec leurs élèves.

Pendant la formation, les enseignants ont estimé que le temps était bien réparti entre les divers types d'activité. La répartition des moments magistraux, interactifs et de manipulations s'équilibrait bien. Les enseignants ont aimé les nombreux retours.

Pour les enseignants du groupe 1, le temps accordé à la planification pendant la formation était bienvenu et serait suffisant pour un contexte autre que celui de la recherche (qui exigeait d'eux une planification à l'ordinateur, assez détaillée, plus détaillée que s'ils avaient eu à se l'écrire pour eux-mêmes). En effet, plusieurs enseignants ont dû terminer de rédiger leur planification détaillée à l'ordinateur en dehors des heures de formation afin de la remettre à la chercheuse-formatrice. Pour ceux du groupe 2, qui ont eu moins de temps pour planifier, les trois heures dédiées à la planification ont été exigeantes. Ces trois heures sont un minimum à prévoir.

Points négatifs et à améliorer

Le moment de l'année (en automne, en octobre pour le groupe 1 et en novembre pour le groupe 2) n'était pas idéal pour les enseignants du groupe 1 ni pour ceux du groupe 2; en effet, ils auraient préféré que ce ne soit pas une fin de mois ni une fin d'étape.

Les enseignants du groupe 2 auraient préféré des journées entières plutôt que des demi-journées afin de réduire le nombre d'absences en classe. Les retours en classe auprès de leurs élèves étaient difficiles. Les enseignants du groupe 1 n'ont pas mentionné cette difficulté.

Un dernier reproche formulé au sujet de l'horaire concerne le moment de la journée choisi pour effectuer la formation. Le sujet 5 n'a vraiment pas aimé que la troisième rencontre, plus magistrale et théorique de surcroît, soit en après-midi. Il a déclaré préférer les matins pour se concentrer plus facilement.

Quelques-uns de ces points sont contextuels; le moment de l'année ainsi que le moment de la journée peuvent dépendre de délais ou de contraintes administratives sur lesquels la chercheure-formatrice n'a pas nécessairement le contrôle. On comprend que la situation idéale est de ne pas donner la formation lors d'une fin d'étape et idéalement en avant-midi ou en prévoyant deux demi-journées par jour. Ce dernier point a toutefois été mentionné par seulement quelques enseignants du groupe 2. Ainsi, la formation restera divisée en six demi-journées, mais l'éventualité de prévoir des journées entières est possible en juxtaposant les demi-journées.

4.4.5.3 Conclusion du paramètre *Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé*

Ce paramètre semble avoir été bien opérationnalisé. La durée était appropriée au contenu et la fréquence, adaptée. Le moment de l'année pourrait être mieux choisi, si possible, et la juxtaposition de demi-journées pourrait être considérée.

4.4.6 Autres éléments pertinents émergents du vécu de la formation

Certains éléments, appartenant à la logistique de la formation, ont semblé pertinents et porteur de succès pour la formation. Ces éléments ont consciemment été planifiés dans la formation et sont mentionnés dans cette section parce qu'ils 1) ne font pas partie des paramètres d'une formation efficace issus du cadre théorique, 2) ont été mentionnés à répétition par des enseignants lors des entrevues 2 ou lors des entretiens de groupe ou 3) semblent prometteurs pour l'efficacité d'une formation.

Tout d'abord, les enseignants ont déclaré avoir apprécié avoir leur propre matériel et ont trouvé qu'il y en avait suffisamment. De toute évidence, une formation en didactique des sciences pourrait difficilement être vécue sans *matériel de manipulation*. Ainsi, tout le matériel nécessaire à la conception de circuits simples en électricité a été mis à la disposition des enseignants lors de la formation. Chaque enseignant avait son propre matériel même lorsqu'il travaillait en équipe. Les enseignants du groupe 1 ont

particulièrement aimé les interrupteurs à guillotine qui permettent de bien comprendre la notion de circuit ouvert ou fermé.

Les enseignants ont également déclaré avoir beaucoup apprécié recevoir une *copie de tout le matériel didactique utilisé lors de la formation*, en copie papier ainsi que sur support informatique. Ce matériel correspond entre autres aux exercices des défis électriques, aux images utilisées pour les analyses de circuits et au cahier de l'élève suggéré pour la conception de la maquette de la pièce de la maison.

Sur un plan organisationnel, les enseignants ont mentionné que la *disposition des tables* en cercle dans le local de formation a favorisé les échanges.

Enfin, l'*accompagnement des enseignants pour l'achat du matériel nécessaire aux activités* en électricité est absolument nécessaire. Dans le groupe 2, la conseillère pédagogique s'est chargée de faire les achats pour tous les enseignants et leur a ensuite présenté l'ensemble du matériel. Les enseignants étaient donc très confortables avec cette façon de procéder, bien qu'ils n'aient pas appris les démarches à effectuer par eux-mêmes. Dans le groupe 1, chaque enseignant a reçu une liste du matériel à se procurer et la formatrice en a discuté avec chacun lors de l'entrevue 1 pour les guider. Les magasins où ce matériel spécialisé se trouve ont été suggérés. Dans ce groupe, les enseignants ont déclaré que commander eux-mêmes le matériel a été difficile et gênant : ils ne connaissaient pas tout le matériel qu'ils commandaient, certains produits étaient en rupture de stock et ils ne savaient pas par quoi les remplacer. Enfin, ils ne savaient pas quel matériel était absolument nécessaire et lequel était facultatif. En effet, ils ont commandé avant de rédiger leur planification pour des questions de délai de livraison afin de pouvoir commencer à vivre la séquence d'enseignement tout de suite après la cinquième rencontre de formation.

4.4.7 Conclusion de la section des résultats sur l'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace

En somme, les paramètres ont été opérationnalisés dans la formation, mais certains pourraient être encore mieux opérationnalisés. Des recommandations d'amélioration ont découlé des déclarations des enseignants. Un rappel de celles-ci se trouve dans le tableau 4.17.

Tableau 4.17
Recommandations pour l'amélioration des paramètres d'une formation efficace pour la mise au point finale de la formation

Paramètres	Recommandations
Aborder un contenu en précisant la théorie qui le sous-tend.	<ul style="list-style-type: none"> - Ajuster les bonds entre les défis et prévoir une différenciation pour les enseignants plus à l'aise et plus rapides; - Aborder davantage la pile et la tension lors des activités en électricité; - Approfondir et réexploiter l'activité de comparaison avec les deux ampoules différentes dans la formation ou la retirer; - Ne pas fournir les mots de la carte conceptuelle aux enseignants; - Aborder davantage l'utilité et les limites des analogies; - Voir de façon plus interactive ou davantage à partir des activités vécues lors de la formation la théorie sous-jacente aux pratiques favorisant le CC.
Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation.	<ul style="list-style-type: none"> - Modifier les défis électriques pour éviter que des enseignants vivent trop de difficultés. Ainsi, une différenciation des défis ou une gestion autre de l'homologation devrait être prévue.
Favoriser un encadrement, une collaboration et la rétroaction par les pairs.	<ul style="list-style-type: none"> - Expliciter la pertinence et les bienfaits de l'accompagnement de la formatrice en classe afin que les enseignants ne vivent pas cette visite comme une situation stressante.
Être cohérent entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et	<ul style="list-style-type: none"> - Ponctuer les défis électriques d'arrêts et prévoir des indices ainsi que des défis supplémentaires pour la différenciation.

modeler les habiletés visées.	
Prévoir une durée et une fréquence raisonnables compte tenu du contenu visé.	- Si possible, considérer autrement le moment de l'année ainsi que la juxtaposition éventuelle de demi-journées.

Toutes ces améliorations possibles ne s'opposent pas et sont réalisables. Il y a même une convergence d'améliorations à effectuer pour l'activité des défis électriques.

4.5 Synthèse des résultats pour la conception de la mise au point finale de la formation (OG)

Cette dernière section du chapitre synthétise les recommandations découlant de l'analyse des données dans le but de répondre à l'objectif *Concevoir et développer un dispositif de formation tenant compte des paramètres d'une formation efficace permettant à des enseignants du primaire de s'initier aux connaissances et aux pratiques du CC à travers l'étude de concepts en électricité et des conceptions initiales associées à ces concepts* (OG). Les recommandations serviront à la conception de la formation dans sa version finale qui se trouve en appendice A. L'ensemble des recommandations se trouve dans les tableaux 4.9, 4.15 et 4.17. Le tableau 4.18 présente une synthèse des changements à apporter et ne reprend pas les *statu quo*. Ce tableau synthèse est présenté selon quelques concepts organisateurs.

Tableau 4.18
Synthèse des recommandations pour la conception de la mise au point finale de la formation

Concepts et pratiques	Expérimenter et aborder davantage...
Court-circuit	Les courts-circuits dans différents contextes de montages et en particulier avec le fil de nichrome.
Circuit	La considération d'un circuit comme un tout.
Énergie	Le concept d'énergie pour ne pas qu'il soit confondu avec les autres concepts.
Analogie	Les analogies possibles en électricité.
Carte conceptuelle	La carte conceptuelle et ce, sans fournir les mots pour la réaliser.
Défis électriques	La différenciation des défis électriques.
Ampoules de différents voltages	Les ampoules non identiques et placées dans un circuit en parallèle.
Relations entre les concepts	Le lien entre l'intensité du courant et l'intensité lumineuse.
Pile et tension	L'effet de la pile et la tension.
Discussion	Les intentions à avoir lors de l'animation de discussions (discussion divergente lors de l'exploration de conceptions ou convergente et plus abstraite lors des retours).
Pratiques favorisant le CC	L'explicitation des pratiques favorisant le CC.
Accompagnement	La pertinence et les bienfaits de l'accompagnement de la formatrice en classe.

La version finale de la formation présentée en appendice A a donc été rédigée en tenant compte des recommandations du tableau 4.18.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Le chapitre précédent présentait les résultats, les interprétations et les liens avec les notions du cadre théorique ainsi qu'avec des éléments de la problématique. Ce chapitre de discussion revient sur les apprentissages réalisés par les enseignants, les paramètres de la formation opérationnalisés ainsi que sur le processus de développement de la formation. Enfin, les limites de la recherche sont abordées.

5.1 Les apprentissages des enseignants

Cette section porte sur les apprentissages réalisés par les enseignants. La formation a engendré les apprentissages prévus, lesquels sont rappelés en premier lieu. Le lien entre les apprentissages en électricité et ceux des pratiques d'enseignement est ensuite présenté. Enfin, quelques possibilités de favoriser encore mieux le transfert des apprentissages des pratiques sont envisagées.

5.1.1 Forces de la recherche pour les apprentissages des enseignants

Chez les enseignants participants, la formation a eu les effets souhaités pour la majorité des hypothèses *a priori*. Ils ont généralement bien réagi à la formation telle que mise à l'essai, le groupe 2 ayant vécu une meilleure version et ayant par le fait même mieux réussi que le groupe 1. En effet, les enseignants du groupe 2 ont en forte majorité effectué la plupart des apprentissages visés par les hypothèses *a priori* portant sur les concepts en électricité; un peu moins d'entre eux ont acquis l'habileté

de la transcription visant à passer de montages schématisés avec les symboles à des croquis de montages ainsi que les notions de court-circuit, de tension, de courant et de résistance. En ce qui concerne les pratiques d'enseignement, les enseignants du groupe 2 ont en majorité utilisé l'ensemble des pratiques favorisant le CC qu'on retrouve dans les hypothèses *a priori* ainsi que presque toutes les pratiques particulières à l'enseignement de l'électricité, sauf une: l'introduction de la notion de courant par le court-circuit n'a pas du tout été employée, possiblement parce qu'une minorité d'enseignants ont compris la notion du court-circuit selon les résultats du questionnaire postformation.

L'emploi des pratiques d'enseignement véhiculées par la formation semble témoigner d'un engagement certain des enseignants participant. Cette intégration des pratiques favorisant le CC ne pourrait être effectuée sans une compréhension minimale du CC de la part des enseignants. En effet, pour favoriser le CC, il ne s'agit pas que d'imiter une technique ou de déclarer certaines formules, mais bien d'oser et d'entrer en interaction avec ses élèves pour guider leur cheminement d'apprentissage et de constamment ajuster ses interventions et ses pratiques en fonction d'eux, en respect avec le cadre constructiviste auquel le CC appartient, le tout en pilotant sa séquence d'enseignement visant l'apprentissage des concepts en électricité dans le cas présent. Par ailleurs, les enseignants ont pris la chance d'enseigner différemment de leur pratique habituelle en sciences telle que déclarée avant la formation.

En somme, dans l'ensemble, la formation a eu les effets escomptés; les données recueillies dans les questionnaires, les planifications, les déclarations des enseignants et lors des observations en classe témoignent qu'ils ont appris et appliqué ce avec quoi ils se sont familiarisés lors de la formation. Pour les hypothèses *a priori* moins observées, la version finale de la formation (voir appendice A) a été planifiée de façon à davantage les favoriser que dans les versions antérieures. En effet, cette version finale de la formation vise évidemment des effets encore meilleurs.

5.1.2 Liens entre les apprentissages en électricité et ceux des pratiques d'enseignement favorisant le changement conceptuel

Un lien peut être établi entre les résultats des apprentissages en électricité et ceux des pratiques favorisant le CC lorsqu'on compare les deux groupes. En effet, au questionnaire postformation, le groupe 1 a été plus faible pour certaines des hypothèses *a priori* qui concernent les apprentissages en électricité. Peu d'entre eux ont explicitement mentionné que le courant est un flux d'électrons qui circulent dans un sens dans un circuit et ont bien identifié et distingué les notions de tension, de courant et de résistance. Or, on constate également que les enseignants du groupe 1 ont moins souvent effectué de retours en classe sur les concepts que ceux du groupe 2, ont moins utilisé les analogies et ont peu planifié les notions de courant, de tension et de résistance. D'ailleurs, ces deux dernières notions n'ont pas du tout été observées dans les séances filmées dans les classes des enseignants du groupe 1. Ces enseignants ont également moins souvent incité leurs élèves à faire des interprétations qualitatives ou à expliquer les phénomènes électriques. Cette faiblesse des enseignants du groupe 1 pour les concepts en électricité incite à penser qu'ils ont par conséquent moins souvent prévu certains concepts dans leurs planifications et qu'ils les ont moins abordés lors des activités en salle de classe. Conséquemment, ces concepts (le courant, la tension, la résistance et la relation entre ces concepts) ont moins été enseignés et, par le fait même, ils ont moins souvent su inciter des interprétations ou une formulation explicite de ces concepts avec leurs élèves.

Or, dans le groupe 2, les hypothèses *a priori* concernant la compréhension du courant, de la tension, de la résistance ainsi que des relations entre ces concepts ont été plus souvent réussies. Cette aisance avec les concepts semble avoir eu un impact sur leur enseignement de l'électricité. En effet, il a été observé que les enseignants de ce groupe ont été plus aptes et enclins à planifier et enseigner ces concepts et ils ont davantage incité leurs élèves à interpréter et expliquer les phénomènes électriques en employant ces concepts, pour favoriser le CC.

Par conséquent, la maîtrise des contenus apparaît essentielle aux enseignants pour favoriser la planification, l'enseignement et l'interprétation des phénomènes. Ainsi, la maîtrise des contenus semble être un préalable à la conceptualisation et à l'emploi des autres pratiques d'enseignement favorisant l'apprentissage de l'électricité. Ce lien entre la maîtrise du contenu et les pratiques corrobore les écrits de Trumper (2005) selon lesquels une formation en sciences doit porter sur un contenu mais aussi sur l'enseignement de ce contenu. Les enseignants ont donc besoin de connaître le contenu scientifique pour favoriser l'apprentissage des concepts auprès des élèves.

5.1.3 Le transfert des pratiques d'enseignement

Selon la perspective des enseignants, l'électricité l'a emporté sur le CC en tant que contenu de la formation, ce qui ne semble pas vraiment favoriser le transfert spontané des pratiques favorisant le CC pour d'autres contenus scientifiques. Le choix d'aborder les pratiques favorisant le CC dans le contexte de l'électricité répondait à un besoin de formation des enseignants ainsi qu'à l'objectif de pouvoir donner un sens à la théorie dans leur pratique (Schwarz, 2009). Une formation efficace sur le CC ne pourrait donc pas seulement être générale et abstraite; le côté pratique pour les enseignants doit absolument être présent. Les déclarations des enseignants témoignent d'ailleurs de leur appréciation de l'aspect pratique de la formation, du fait qu'ils ont pu transposer et mettre à l'essai les activités vécues dans leur classe. De plus, comme mentionné dans la section précédente, plus les enseignants connaissent les concepts en électricité, plus ils emploient des pratiques d'enseignement qui favorisent l'apprentissage de ces concepts.

Le contexte de l'électricité sert donc de prétexte pour présenter les pratiques favorisant le CC. Cela a favorisé le fait qu'ils emploient les activités et les pratiques d'enseignement utilisées et modelées pendant la formation. Le modelage découlait d'un des paramètres d'une formation efficace, *Faire la démonstration ou modeler les habiletés visées*, un paramètre s'apparentant à l'homomorphisme. Selon les

déclarations des enseignants, ils ont été très sensibles au modelage. Les planifications et les observations en classe en témoignent aussi. En effet, les enseignants ont beaucoup réutilisé les activités telles que vécues même si elles n'étaient pas imposées puisqu'ils ont été responsables et libres d'élaborer leur propre planification avec leurs propres choix d'activités. Ainsi, le modelage a été prépondérant pour eux et ils se sont énormément inspirés des activités et des pratiques employées par la formatrice. Le modelage a certainement contribué à l'acquisition des pratiques d'enseignement qui ont été observées dans les planifications et les séances filmées. Si les enseignants peuvent apprendre et être inspirés par la formatrice, on peut tout de même se demander comment s'assurer que les enseignants puissent aller au-delà de la reproduction.

D'ailleurs, cette contextualisation des pratiques avec un contenu a entraîné que les enseignants ont envisagé moins spontanément comment ils peuvent transférer les pratiques vues dans la formation pour l'enseignement d'autres contenus scientifiques.

En effet, la considération du transfert se fit surtout sentir après avoir remémoré un contexte aux enseignants. Lorsqu'on leur a demandé si, à l'avenir, ils enseigneraient différemment une des activités de sciences qu'ils avaient décrite lors de l'entrevue 1, (on leur remémorait cette activité), la majorité des enseignants du groupe 1 et la moitié de ceux du groupe 2 ont dit qu'ils modifieraient un peu leur activité. Ils ont déclaré qu'ils questionneraient davantage les élèves, prendraient le temps de leur demander leurs conceptions, proposeraient plus de manipulations, diversifieraient les façons d'enseigner, mettraient les élèves en action pour qu'ils changent leurs conceptions, accorderaient plus de temps à un concept ou à une conception technique, animeraient davantage de retours et organiseraient les équipes d'élèves eux-mêmes puisque les élèves amis se confrontent moins. Sur certains détails, en étant poussés à y penser avec un contexte qu'ils connaissent déjà bien, quelques enseignants ont donc pris conscience et exprimé qu'ils apporteront certains changements à leur

enseignement des sciences en nommant quelques pratiques générales favorisant le CC qui découlent des modèles, les plus applicables et transférables pour d'autres phénomènes. Cela étant, ils n'ont pas déclaré avoir l'impression d'avoir énormément changé leur vision de l'enseignement des sciences.

En effet, lorsqu'on a demandé aux enseignants si leur vision générale du « bon » enseignement des sciences avait changé à la suite de la formation, quatre enseignants du groupe 1 et sept du groupe 2 avaient déclaré que leur vision de la bonne façon d'enseigner n'allait pas changer, qu'ils avaient été « validés » dans leur façon d'enseigner les sciences. Ces enseignants ont donc déclaré avoir été renforcés dans ce qu'ils faisaient. Les enseignants ne semblent ainsi pas penser avoir vécu de changement radical par rapport à leur façon d'envisager leur pratique d'enseignement des sciences en se familiarisant avec les pratiques favorisant le CC et en les employant en classe. Leur vision de l'enseignement des sciences ne semble pas avoir subi de CC radical; ils ne semblent pas avoir vécu de CC par rapport au CC.

Toutefois, comme mentionné dans la section précédente, les enseignants ont utilisé les pratiques d'enseignement favorisant le CC, des pratiques qui pour la plupart n'étaient pas mentionnées parmi leur pratique d'enseignement des sciences déclarée avant la formation. Une prise de conscience générale d'un changement n'a pas eu lieu pour eux, mais il est raisonnable de soupçonner un changement de pratique entre avant la formation et le moment de l'observation en classe étant donné les données collectées. Puisqu'ils n'ont pas d'emblée l'impression qu'ils peuvent transférer les pratiques pourtant adoptée du moins pendant l'enseignement de leur séquence d'enseignement en électricité, il semble que la présentation magistrale sur les modèles de CC et les pratiques en découlant n'a pas eu l'effet de structuration souhaité; ces informations leur ont paru déconnectées et n'ont pas servi à leur donner un recul sur l'ensemble de leur pratique d'enseignement passée, actuelle et future en regard du CC.

Un transfert de certaines pratiques favorisant le CC a tout même été opéré lorsqu'on donnait un contexte d'activité connue aux enseignants. Malgré tout, pour dépasser le modelage et pour contraindre davantage un transfert plus général, conscient et spontané des pratiques favorisant le CC pour d'autres phénomènes que celui de l'électricité, quatre options favorisant la réflexivité chez les enseignants peuvent être envisagées.

Une première option consisterait à miser davantage sur la prise de conscience des quelques pratiques favorisant le CC intégrées après qu'ils aient enseigné leur séquence d'enseignement. Cette prise de conscience pourrait être favorisée par la confrontation de différences entre leur enseignement avant la formation et leur enseignement après la formation. Pour ce faire, lors de rencontres individuelles, les déclarations de la première entrevue pourraient être confrontées aux observations qu'on peut faire de la vidéo captée dans le but de susciter une prise de conscience. Aussi, autrement, un vidéo d'un cours de sciences pourrait être capté avant la formation en plus de celui capté après la formation, lors de l'enseignement de leur séquence dans leur classe. Puis, les vidéos en entiers ou bien les extraits contrastés montrant un changement de pratique pourraient être visionnés avec chaque enseignant, pour favoriser une réflexion et une prise de conscience globale qui pourraient résulter en un CC à propos du CC. Une étape de confrontation des pratiques avant et après la formation, guidée par la formatrice, serait ainsi ajoutée au processus de formation.

Un autre angle d'attaque pour favoriser le transfert des pratiques favorisant le CC serait la variation des contextes scientifiques d'application du CC. Trois options seraient possibles. Une première option consisterait en une formation qui porterait simultanément sur plusieurs contextes différents, possiblement au choix des enseignants. Au cours de cette formation, chaque enseignant serait amené à vivre des expérimentations et à approfondir sa connaissance des concepts scientifiques

particuliers au contexte retenu tout en étant familiarisé avec les pratiques favorisant le CC. La formatrice aurait ainsi plus d'activités à prévoir. Elle aurait avantage à procéder par ateliers afin que les enseignants puissent réaliser les activités en lien avec le contenu scientifique qu'ils auraient choisi. Ils planifieraient et enseigneraient leur séquence d'enseignement à propos de leurs propres concepts sélectionnés. À la fin de la formation, le colloque pourrait permettre aux enseignants d'échanger et de mettre en exergue les pratiques favorisant le CC récurrentes d'une séquence à l'autre malgré les contextes différents.

Une autre option miserait sur un ajout à la formation telle que planifiée en appendice A. En effet, à la suite de la formation actuelle portant sur le CC en électricité, les enseignants pourraient être accompagnés pour la planification et l'enseignement d'autres concepts. Cette suite de la formation leur permettrait d'être guidés dans l'emploi des pratiques d'enseignement favorisant le CC qui peuvent être récurrentes de l'enseignement d'un concept à un autre. Dans cette seconde option, pour assurer un suivi du transfert vers d'autres concepts, il faudrait donc allonger la période de formation et d'accompagnement des enseignants en ajoutant des rencontres de formation et une autre visite d'observation et d'accompagnement en classe.

Enfin, il faudrait évaluer si un transfert pourrait être effectué à l'intérieur même de la formation. Cette dernière option correspond à une fusion des deux premières options. Dans cette formule, les enseignants vivraient des activités sur le CC en électricité pendant les quatre premières demi-journées de formation. Puis, lors de la cinquième rencontre, on leur demanderait une planification à propos d'un autre concept. Ils iraient ensuite en classe enseigner la séquence planifiée à propos de ce nouveau concept. Le pas à franchir serait grand, mais inciterait un transfert. Cette option pourrait toutefois être ardue pour les enseignants si les concepts choisis leur sont méconnus. En effet, il a été constaté que les enseignants ont un besoin réel

d'apprendre en formation sur les concepts puis d'essayer de les enseigner par eux-mêmes. Cette étape d'enseigner d'abord les concepts tel qu'ils l'ont vécu eux-mêmes dans la formation les aidait.

En somme, les enseignants nomment des pratiques d'enseignement favorisant le CC qu'ils transfèreraient dans l'enseignement d'autres concepts lorsqu'on leur rappelle des exemples de l'enseignement de leurs propres activités antérieures. Ils envisagent toutefois peu un transfert spontané. La réflexivité en cours de formation pourrait être suscitée afin de favoriser la prise de conscience de la possibilité du transfert. Divers moyens mentionnés dans les paragraphes précédents pourraient être employés en ce sens telle l'analyse de vidéos captés avant et après la formation.

5.2 Les paramètres d'une formation efficace opérationnalisés

L'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace, tirés de la fusion des travaux de Blank et de las Alas (2010) et de Joyce et Showers (2002), fut dans le contexte de notre formation d'une manifeste utilité. Encore une fois, les apprentissages des enseignants tout comme leurs déclarations effectuées lors des entretiens de groupe en témoignent. En vivant de nombreuses activités portant sur l'électricité en tant qu'apprenants, les enseignants ont eux-mêmes vécu le CC par rapport aux concepts en électricité tout en étant formés aux pratiques d'enseignement qui favorisent le CC.

Les paramètres se sont bien amalgamés avec le contenu de la formation. Les résultats ainsi que l'appréciation témoignée par les enseignants lors des entrevues et des entretiens de groupe montrent la pertinence de leur permettre de pratiquer, de collaborer entre eux, de bénéficier d'un accompagnement, d'employer des pratiques véhiculées par la formation et d'aborder la théorie en lien avec l'électricité. Le tout a manifestement contribué à leur appropriation des concepts et des pratiques.

La théorie portant sur le CC les a toutefois moins intéressés. Seul un enseignant de chaque groupe a mentionné avoir apprécié la présentation portant sur le CC, les conceptions en électricité et les modèles de CC. Le moyen employé peut être questionné (la présentation magistrale), tout comme le fait que cette présentation était déconnectée du vécu de la formation tout comme de leur vécu en classe. Comme l'idée du transfert est à explorer, un moyen plus pratique gagnerait à intégrer l'aspect théorique en regard du CC. Des comparaisons de pratiques visionnées ou déclarées pourraient être provoquées et employées pour aborder la théorie en lien avec le CC, ce qui pourrait par ailleurs favoriser une réflexivité sur la pratique d'enseignement passée, actuelle et future des enseignants.

5.3 Le processus de développement : l'association de l'ingénierie didactique et de la recherche développement

L'amalgame des types de recherche d'Artigue (1988) et d'Harvey et Loisel (2009) a permis de rencontrer les objectifs de recherche poursuivis. À la suite de l'accomplissement du processus de développement, quelques pistes pour le bonifier sont suggérées.

5.3.1 Les forces de l'association des deux méthodes de recherche

L'association de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) et de la recherche développement (Harvey et Loisel, 2009) a porté fruit. Les étapes prévues dans la méthodologie ont été respectées. La fusion des étapes de la recherche développement combinées à la formulation des hypothèses *a priori* et à l'analyse *a posteriori* de l'ingénierie didactique ont permis de justifier les améliorations systématiques par retouches successives et de constater les apprentissages réalisés par les enseignants. Selon les résultats obtenus, les boucles de mise à l'essai et de mise au point sont nécessaires et ont permis d'améliorer le dispositif de formation en fonction des hypothèses *a priori* ciblées. En effet, la mise au point effectuée après la mise à l'essai

avec le groupe 1 a permis d'améliorer la formation puisque les enseignants du groupe 2 ont mieux réussi les apprentissages visés.

De nombreuses données recueillies via des outils variés (les questionnaires, les entrevues, les planifications, les séances d'enseignement vidéographiées et les entretiens de groupe) ont permis de bien documenter les effets de la formation et de détecter les améliorations à effectuer.

Le progrès des enseignants par rapport aux concepts était facile à constater. En effet, au cours du déroulement des activités de la formation, il était aisé de voir si les enseignants comprenaient ou non; il n'était pas nécessaire d'attendre la fin de la formation et de comparer les questionnaires 1 et 2 pour constater leur compréhension des concepts. Pour prendre acte des pratiques d'enseignement, l'observation en classe était cependant absolument nécessaire en plus de la lecture des planifications écrites, qui n'étaient pourtant pas toutes très détaillées. Cette opération était primordiale, car en cours de formation, les enseignants jouaient surtout le rôle de l'élève et non celui de l'enseignant, donc la formatrice n'avait pas l'occasion de s'assurer de leurs progrès réels pendant le déroulement de la formation. Ainsi, leurs pratiques d'enseignement ne pouvaient pas être observées pendant les rencontres de formation. En somme, les mesures prises dans le processus de développement étaient adéquates et ont permis à la fois d'évaluer l'appropriation des concepts et des pratiques visées par les hypothèses *a priori* ainsi que d'améliorer progressivement la formation. Un indice positif de l'efficacité de ce processus de développement est que le deuxième groupe d'enseignants a mieux appris.

5.3.2 Améliorations du processus de développement envisagées

Les étapes de mises à l'essai concernaient toujours un retour sur les hypothèses *a priori* formulées dans l'analyse *a priori* du cadre théorique. Il n'y avait pas d'ouverture qui aurait pu permettre de remarquer des problèmes à l'extérieur des

hypothèses *a priori*. En effet, le processus de développement de la présente recherche n'invite pas à être ouvert aux problèmes plus généraux dans le but de les identifier en cours de route; les parties camouflent le tout. Ce constant retour vers les mêmes hypothèses n'a pas permis de voir et de pointer d'éventuels nouveaux problèmes comme celui du transfert partiel des pratiques favorisant le CC. Les hypothèses *a priori* formulées dans le cadre de la présente recherche portaient sur des concepts et des pratiques pointues avec l'objectif de pouvoir les mesurer. Or, une attitude plus ouverte permettrait vraisemblablement d'identifier des éléments qui pourraient mettre en péril les apprentissages souhaités mais qui ne sont pas nécessairement mentionnés dans les hypothèses *a priori*. Ainsi, une option serait de formuler des hypothèses plus générales, en plus de celles spécifiques de la présente recherche.

Une autre option serait d'explicitement permettre un recul au cours du développement dans le but de voir si des problèmes connexes à la question générale de recherche émergent. Dans le cas présent, c'est comme si l'analyse des parties pouvait masquer le tout. En effet, le problème du transfert a été constaté à la fin du processus de la présente recherche, mais n'émergeait pas nécessairement des parties (hypothèses *a priori*) ni de leur somme.

Le fait de formuler des hypothèses *a priori* plus générales ou bien de prévoir un recul afin de poser un regard plus ouvert dans le but de voir émerger des problèmes dépassant la somme des hypothèses *a priori* laisserait plus de place au jugement du formateur-chercheur. En effet, ce ne sont pas seulement les déficits par rapport à l'atteinte des hypothèses *a priori* qui peuvent permettre de trouver des solutions; lors de la mise à l'essai ou de la collecte de données, des solutions inattendues peuvent survenir tout comme des problèmes imprévus. Ainsi, une place plus grande pourrait être accordée au formateur-chercheur dans le processus de développement en complément aux données recueillies par rapport aux hypothèses *a priori* formulées. Ces options de modifications pourraient allonger la durée de la recherche. En effet,

une fois un problème plus général identifié ou bien afin d'évaluer l'atteinte d'une hypothèse *a priori* plus générale, la collecte de données complémentaires pourrait être nécessaire pour détecter les effets de la formation et les modifications à y apporter, le cas échéant. Puis, celle-ci pourrait être remise à l'essai.

5.4 Les limites de la recherche

Cette recherche doctorale menée dans le cadre d'un projet individuel comporte quelques limites.

D'abord, elle ne peut être généralisée. En effet, elle n'a pas été mise à l'essai de façon systématique auprès d'un large échantillon. Elle pourrait toutefois être transférable pour des échantillons similaires à ceux décrits dans ce projet. Cette recherche de similarité devrait tenir compte de la motivation que les enseignants participants ont manifestée simplement en étant volontaires pour participer à cette recherche développement. En effet, en étant volontaires, ces enseignants pouvaient avoir un intérêt *a priori* pour l'enseignement des sciences ou à tout le moins, une motivation intrinsèque pour progresser et évoluer dans leur enseignement des sciences, ce qui ne correspond pas nécessairement au profil de tous les enseignants du primaire. Il y a donc un biais dû au fait que les enseignants participants étaient volontaires, ce biais pouvant expliquer les différences entre les enseignants de l'échantillon et ceux des autres recherches.

Une autre limite concerne les questions 6 et 13 du questionnaire. En effet, la question 6, sur le court-circuit, était un peu difficile. Le contexte de la question était différent et plus complexe que le contexte du court-circuit utilisé lors de la formation. Ainsi, cette question n'a pas permis d'évaluer la compréhension du court-circuit simple tel que vu dans la formation, mais plutôt la compréhension d'un court-circuit plus complexe. La question 13, sur le rôle des composantes du circuit, était quant à elle un peu trop ouverte par rapport aux réponses attendues et recherchées. Par exemple, pour la question sur le rôle des fils, certaines réponses n'étaient pas erronées, mais

incomplètes dans le sens où les enseignants ne mentionnaient pas spontanément la présence des électrons dans les fils. Ces réponses « incomplètes » ne permettaient pas de savoir avec certitude si les enseignants n'avaient simplement pas précisé ce détail ou s'ils ne savaient pas que les électrons sont déjà présents dans les fils. Une prochaine recherche gagnerait donc à utiliser un questionnaire amélioré où le contexte du court-circuit de la question 6 serait plus simple et où la question 13 serait formulée de façon à obtenir des réponses plus détaillées.

Toujours en ce qui a trait aux données recueillies, les données actuelles ne permettent pas de témoigner d'un *progrès* des pratiques d'enseignement *observées* chez les enseignants. En effet, une seule captation vidéo a été effectuée, laquelle a permis de constater comment ils agissaient après la formation. Il aurait pu être intéressant d'avoir des captations vidéo de l'enseignement des sciences de chaque enseignant avant la formation. Cette captation initiale aurait pu être comparée à la captation réalisée après la formation afin d'évaluer un progrès.

Une autre limite de cette recherche est le biais qui a pu être provoqué par la subjectivité des sujets. En effet, un certain effet de proximité entre les enseignants et la chercheure-formatrice a pu amener les enseignants à vouloir lui faire plaisir. Ce biais a été décelé à certains moments, notamment quand le sujet 3, par exemple, a déclaré avoir été stressé avec la visite de la chercheure-formatrice dans sa classe, car il se demandait s'il allait agir comme la formatrice le souhaitait. La chercheure-formatrice a tenté de prévenir le plus possible les possibilités de biais dus à la subjectivité des enseignants en leur disant qu'elle cherchait à évaluer sa formation avant tout et non leur enseignement. Elle leur a expliqué qu'elle voulait les voir au naturel, qu'ils agissent comme à leur habitude avec leurs élèves malgré sa présence et la caméra. Malgré cette précaution, les enseignants, qui ont côtoyé la chercheure-formatrice et qui l'ont apparemment appréciée, ont supposé qu'elle avait des attentes et ont parfois espéré y répondre au meilleur d'eux-mêmes.

CONCLUSION

En conclusion, le cadre développé dans la thèse pour concevoir le dispositif de formation a porté fruit : la formation a eu les effets prévus auprès des enseignants. Ils ont progressé en électricité et ont utilisé et déclaré utiliser des pratiques d'enseignement favorisant le CC ainsi que les apprentissages en électricité. Ces retombées positives chez les enseignants participants témoignent également du fait que les paramètres d'une formation efficace ont été opérationnalisés avec succès. Enfin, les outils de collecte de données créés pour assurer le suivi des mises à l'essai ont permis de recueillir les données nécessaires à l'évaluation de l'atteinte des apprentissages visés par les hypothèses *a priori* ainsi que de pointer et justifier les améliorations à apporter au dispositif pour la version mise au point finale. La démarche de la recherche ainsi que les moments de collectes de données prévus ont été respectés et ont permis d'atteindre les objectifs poursuivis. Ces résultats signifient que les recherches portant sur le CC peuvent être vulgarisées pour les enseignants pour une intégration à leur pratique en classe. Ils signifient également que les itérations de mise à l'essai et de mise au point assurent une régulation et une amélioration du dispositif de formation. La formation présentée en appendice A est validée par rapport aux objectifs qui étaient poursuivis pour les enseignants. Ainsi, le processus de développement tout comme l'architecture générale de la formation présentée en appendice A pourraient servir à la conception d'autres formations destinées aux enseignants.

Cette recherche occasionne de nombreuses retombées pour la pratique. D'abord, la formation, planifiée en détails consiste en un outil que d'autres formateurs comme les conseillers pédagogiques pourraient employer pour la formation continue avec

d'autres enseignants. Plusieurs activités de la formation pourraient également être menées auprès de futurs enseignants du primaire. Enfin, l'ensemble du matériel didactique destiné aux enseignants pendant la formation (les défis électriques, le projet de maquette, l'analyse des circuits, etc.) se transpose facilement afin d'être employé en classe avec les élèves du troisième cycle.

L'opérationnalisation des paramètres d'une formation efficace s'est bien réalisée. Toutefois, le paramètre *Faire la démonstration ou modeler les habiletés visées* a pris beaucoup de place du point de vue des enseignants, ils ont beaucoup été inspirés par leur vécu de la formation. Les activités de la formation devraient être élaborées de façon à contraindre les enseignants à dépasser l'effet de modelage et à favoriser le transfert. Le souhait que les enseignants transfèrent les apprentissages réalisés lors d'une formation est légitime. Le transfert mérite plus de temps que celui qui lui fut alloué dans les versions mises à l'essai. En effet, cette formation n'a pas incité à un transfert général et spontané des pratiques d'enseignement favorisant le CC pour l'enseignement d'autres phénomènes scientifiques que l'électricité et les enseignants n'ont pas été incités à dépasser le modelage. Divers moyens favorisant une réflexivité chez les enseignants par rapport au transfert peuvent être envisagés. Une prise de conscience des enseignants provoquée par la comparaison de vidéos de leur enseignement des sciences captés avant et après la formation ou un accompagnement des enseignants pour la planification d'une séquence portant sur d'autres concepts que ceux en électricité pourraient favoriser le transfert. Ainsi, de prochaines démarches de recherche développement portant sur la formation des enseignants en sciences gagneraient à mettre l'emphasis sur la possibilité du transfert et du réinvestissement des pratiques dans leur enseignement futur.

Quant au processus de développement issu de la fusion de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) et de la recherche développement (Harvey et Loiselle, 2009), il a permis de constater les apprentissages effectués par les enseignants et de justifier les

améliorations à apporter à la formation et d'améliorer la formation afin d'en proposer une mise au point et validée. Le processus de la recherche est réalisable et complet. Il pourrait être amélioré en permettant l'émergence de nouveaux problèmes ou de solutions inattendues. En effet, le processus pourrait être plus souple en ne portant pas que sur les hypothèses *a priori* très spécifiques. Le retour constant vers celles-ci ne permet pas d'identifier puis d'ajuster la formation à propos de problèmes plus larges qui peuvent émerger en cours de route et qui n'étaient pas nécessairement prévus dans l'analyse *a priori* initiale. Les cibles d'apprentissages des enseignants doivent être conservées, mais le processus doit permettre au chercheur-formateur d'intégrer de nouveaux problèmes, de nouvelles solutions et de nouvelles orientations selon le contact qu'il aura avec les enseignants lors des entrevues, lors du déroulement de la formation et lors des visites dans les écoles. Le chercheur-formateur doit ainsi être alerte et ouvert aux données émergentes lors du déroulement des mises à l'essai tout en conservant les cibles initiales.

Cinq éléments clés sont à retenir pour développer et bonifier une formation destinée aux enseignants :

- Tout d'abord, les boucles successives de mises à l'essai et de mise au point sont essentielles pour tester et améliorer la formation.
- Deuxièmement, des retombées pratiques directes doivent être prévues pour l'enseignement en classe (notamment en demandant aux enseignants de planifier, en employant les pratiques pendant la formation). Ce côté pratique doit être favorisé par l'homomorphisme sans toutefois trop glisser dans le modelage et tout en contraignant les enseignants au transfert.
- De plus, l'accompagnement et l'observation en classe sont primordiaux, car ils impliquent que les enseignants effectuent un essai en classe avec leurs élèves et car ils permettent de constater les pratiques effectives des enseignants à la suite de la formation et de leur offrir une rétroaction tout juste

après l'observation. Habituellement, les enseignants n'ont pas beaucoup d'occasions d'être accompagnés en classe. Ils sont très souvent seuls avec leurs élèves et ont rarement de rétroaction directe à propos de leur pratique. Ainsi, la majorité des enseignants ont beaucoup apprécié pouvoir profiter de cette visite. L'accompagnement pendant le déroulement ainsi que l'échange qui s'en est ensuivi avec la formatrice ont été bien reçus.

- Quant à la planification de la formation, elle doit être conçue de façon à répéter et utiliser à plusieurs reprises les concepts et les pratiques d'enseignement visés par la formation et ce, dans différentes activités et différents contextes pour favoriser leur compréhension et leur intégration par les enseignants.
- Enfin, les échanges et la collaboration entre les enseignants doivent être favorisés et encouragés pendant la formation pour qu'ils bénéficient de la compréhension, des planifications, des réflexions et des expériences de leurs collègues et pour qu'ils puissent partager les leurs.

Des recherches futures pourraient se concentrer sur l'ambition du transfert. Pour ce faire, des recherches pourraient explorer la variation des contextes scientifiques abordés dans la formation ou l'accompagnement des enseignants pour qu'ils prennent conscience des pratiques favorisant le CC et de leur changement de pratique, le cas échéant.

De plus, il serait intéressant de réaliser des recherches qui peuvent développer d'autres formules de formation pour familiariser les enseignants avec les pratiques favorisant le CC. En effet, le déroulement du processus de développement s'est bien passé et nous a permis de faire progresser notre dispositif de formation, alors l'architecture de la formation pourrait être employée pour d'autres contenus scientifiques.

Des recherches pourraient ainsi explorer et tester des variations du processus de développement issu de la fusion de l'ingénierie didactique et de la recherche développement telles celles proposées précédemment, dont l'assouplissement du processus permettant l'émergence d'hypothèses *a priori*. Si les moyens le permettent, les variations du processus pourraient aussi explorer plus de boucles de mise à l'essai et de mise au point, impliquant par le fait même plus de sujets, ainsi que l'ajustement de la collecte des données en fonction des hypothèses *a priori* émergentes. En effet, par exemple, une variation des types de données collectées tout comme les moments ou la fréquence de collecte pourraient être explorés, tout en gardant une cohérence avec les hypothèses *a priori*.

Cette recherche ne permet pas d'évaluer si les *élèves* des enseignants participants ont progressé dans leur apprentissage des concepts en électricité ou s'ils ont vécu un CC par rapport à des concepts en électricité. Ils n'ont été observés qu'indirectement en classe lors de la captation vidéo. Compte tenu de nos objectifs de recherche, l'attention a été essentiellement tournée sur l'enseignant et son enseignement. Une recherche développement subséquente pourrait mesurer l'effet de l'enseignement chez les élèves en plus de celui chez les enseignants.

Enfin, une hypothèse *a priori* de cette recherche qui mériterait l'attention particulière des chercheurs est le retour sur les concepts avec les élèves. En effet, la conceptualisation en fin d'activités ou à la fin de la séquence d'enseignement n'a pas paru aisée chez tous les enseignants et aurait pu être observées plus fréquemment, ce qui contraste avec son importance pour favoriser les apprentissages que les élèves retiennent d'une expérimentation. Les méthodes de retour et la conceptualisation pourraient être explorées sur différentes facettes : par rapport à l'efficacité auprès des élèves, par rapport à la connaissance que les enseignants en ont, par rapport aux pratiques employées par les enseignants, etc.

La didactique des sciences au primaire est un vaste terrain de recherche d'abord parce que cette matière scolaire fait figure de parent pauvre dans l'enseignement au primaire. Toutefois, chaque recherche de ce champ pose une pierre de connaissances de plus pour étendre tant les fondements que les pratiques liés à la didactique des sciences. Cette recherche visait établir un pont entre les recherches sur le CC et les enseignants du primaire. Elle a permis de rendre accessibles et pratiques les recherches portant sur le CC. Cet apport est pertinent tant pour la recherche que pour la pratique. Il importe de persévérer dans l'établissement de liens entre la théorie et la pratique. D'autres théories, aussi vastes que le CC ou plus particulières à certaines disciplines ou concepts scientifiques méritent certainement elles aussi d'être vulgarisées et communiquées aux enseignants d'une façon qui leur permette d'intégrer dans leurs pratiques quotidiennes des éléments tirés des recherches en didactique des sciences et qui favorisent les apprentissages des élèves. En effet, le souhait n'est-il pas que tous les élèves du primaire apprennent davantage et mieux en sciences ?

APPENDICE A

PLANIFICATION DE LA FORMATION APRÈS SA MISE AU POINT FINALE

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION.....	214
OBJECTIFS VISÉS PAR LA FORMATRICE POUR CHACUNE DES DEMI-JOURNÉES DE FORMATION	215
PREMIÈRE DEMI-JOURNÉE	216
1. 1 Accueil, de la formatrice, présentation de la formation et ordre du jour	217
1.2 Échanges sur les attentes et craintes par rapport à la formation	219
1.3 Activité à propos d'un circuit simple qui doit être fermé et conceptions qui y sont associées	221
1.4 Introduction de la notion de courant par le court-circuit	224
1.5 Défis électriques pour aborder le circuit simple avec interrupteur(s) et les différents conducteurs	227
DEUXIÈME DEMI-JOURNÉE	228
2.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour.....	233
2.2 Retour sur les défis électriques	234
2.3 Activité sur le conflit sociocognitif par la confrontation de prédictions portant sur les défis à propos des circuits en parallèle et en série	235
2.4 Analyse de schémas et dessins pour discuter de l'emploi de différentes aides à penser (représentations) et de l'importance de faire un retour sur les concepts	238
2.5 Activité de comparaisons de circuits dans le but d'explorer les effets et les interactions entre les différentes variables d'un circuit (tension, courant et résistance) pour ensuite aborder l'analogie (début)	240
TROISIÈME DEMI-JOURNÉE	242
3.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour.....	243
3.2 Suite et fin de l'activité 2.5 sur les comparaisons et les analogies	244
3.3 Retour sur les concepts en électricité vus lors des première et deuxième rencontres.....	247

3.4 Présentation d'un projet en électricité et de ses contraintes.....	248
QUATRIÈME DEMI-JOURNÉE.....	250
4.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour.....	251
4.2 Production d'une carte conceptuelle sur les notions en électricité	252
4.3 Réalisation d'un projet en électricité en respectant quelques contraintes - suite	253
4.4 Synthèse des pratiques favorisant le CC, des conceptions et lexique.....	255
4.5 La planification d'une séquence d'enseignement en électricité - début	258
CINQUIÈME DEMI-JOURNÉE.....	261
5.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour.....	262
5.2 Planification (suite).....	263
5.3 Conclusion de la demi-journée	264
SIXIÈME DEMI-JOURNÉE	266
6.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour.....	267
6.2 Colloque	268
6.3 Entretien de groupe, discussion	269
6.4 Synthèse globale	270
RÉFÉRENCES	271

PRÉSENTATION

Vous trouverez dans ce document la planification des six demi-journées du dispositif de formation portant sur le changement conceptuel (CC) en électricité destinée aux enseignants du primaire. Il est à noter qu'il est possible de fusionner les demi-journées 1 et 2, ainsi que les demi-journées 3 et 4 pour diminuer le nombre de rencontres tout en attribuant la même durée à la formation.

Il importe de communiquer aux enseignants le matériel qu'ils devront se procurer pour enseigner l'électricité dans leur classe. Le matériel nécessaire est énuméré ci-dessous. Les quantités indiquées conviennent à un groupe de 24 élèves qui travaillent en équipe de 2.

- 12 paquets de dix fils à pinces alligators;
- 48 piles AA;
- 12 supports à piles AA;
- 48 supports à ampoules;
- 5 paquets de dix ampoules 2,5V 0,2A qui se vissent;
- 2 paquets de dix ampoules 6,3V 0,2A qui se vissent;
- 24 interrupteurs à levier.

Cette même liste est utilisée pour acheter le matériel nécessaire au formateur qui donne cette formation (les quantités conviennent à un groupe de 10 enseignants). À cette liste s'ajoutent une pile 9V ou une source, le moteur électrique 1,5 à 12V (5 unités), la sonnerie électrique 3 à 30V à son continu (5 unités), des résistances de 5 ou 11 ohms de 0,5 watts (5 unités) et 24 piles D avec les supports correspondants.

À la prochaine page, vous trouvez les objectifs visés pour chacune des demi-journées.

Pour le reste du document, au début de la section de chacune des journées, le contenu de chaque demi-journée est présenté dans un tableau (nom des activités et leur durée). Puis, chaque activité est structurée comme suit :

- Titre de l'activité
- Intention de la formatrice ;
- Matériel nécessaire ;
- Regroupement des enseignants ;
- Durée prévue ;
- Sécurité ;
- Rôle de la formatrice ;
- Rôle des enseignants en formation ;
- Types d'activités pendant le déroulement ;
- Documents liés à l'activité, s'il y a lieu.

OBJECTIFS VISÉS PAR LA FORMATRICE POUR CHACUNE DES DEMI-JOURNÉES DE FORMATION

PREMIÈRE DEMI-JOURNÉE	-Introduire la notion didactique de conception et la notion scientifique de courant aux enseignants.
DEUXIÈME DEMI-JOURNÉE	-Introduire les notions didactiques de conflit cognitif, de changement des conceptions, d'analogie et les notions scientifiques par rapport aux circuits en parallèle et en série, au court-circuit ainsi que par rapport à l'interaction entre le courant, tension et les résistances.
TROISIÈME DEMI-JOURNÉE	-Introduire les notions didactiques de conflit cognitif, de changement des conceptions, d'analogie et les notions scientifiques par rapport aux circuits en parallèle et en série, au court-circuit ainsi que par rapport à l'interaction entre le courant, la différence de potentiel et les résistances (suite).
QUATRIÈME DEMI-JOURNÉE	-Faire vivre aux enseignants un projet en électricité dans le but de consolider les apprentissages sur les pratiques d'enseignement et les concepts en électricité.
CINQUIÈME DEMI-JOURNÉE	-Allouer du temps aux enseignants pour la planification d'une séquence d'enseignement en électricité qui favorise le CC et les accompagner dans cette planification.
SIXIÈME DEMI-JOURNÉE	-Animer un colloque afin que les enseignants puissent partager le récit du déroulement de l'enseignement de leur séquence d'enseignement ainsi que leurs commentaires et réflexions par rapport à la formation.

PREMIÈRE DEMI-JOURNÉE

BUT : Introduire la notion didactique de conception et la notion scientifique de courant aux enseignants.

ORDRE DU JOUR	
1.1 Accueil, présentation de la formation et de la formatrice et ordre du jour	10 minutes
1.2 Échanges sur les attentes et craintes par rapport à la formation	25 minutes
1.3 Activité à propos d'un circuit simple qui doit être fermé et conceptions qui y sont associées	30 minutes
1.4 Introduction de la notion de courant par le court-circuit	30 minutes
PAUSE	15 minutes
1.5 Défis électriques pour aborder le circuit simple avec interrupteur(s) et les différents conducteurs	70 minutes
TOTAL :	180 minutes

1. 1 Accueil, de la formatrice, présentation de la formation et ordre du jour

Intention de la formatrice : Accueillir les participants, présenter la formatrice et informer les enseignants du contenu de la formation, du déroulement de la recherche ainsi que de l'ordre du jour de la rencontre afin d'éclairer les participants.

Durée 10 minutes	Type de regroupement En grand groupe
Matériel • Ordre du jour au tableau ou sur une feuille	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Pendant l'accueil, distribuer des cartons pour que les enseignants inscrivent leur nom. • Brève présentation de la formatrice (rappel de son nom, professeure à l'Université de Montréal, doctorante, et précédemment : enseignante, conseillère pédagogique, chargée de cours). • Demander aux enseignants de se présenter (nom, école, niveau auquel ils enseignent), et de dire ce qu'ils mettent sur leurs rôties pour sensibiliser les enseignants à l'enseignement qui varie d'un enseignant à l'autre, et en venir avec l'idée que chacun est différent, que chacun a sa façon d'enseigner et que la formation vise qu'ils intègrent les pratiques favorisant le CC tout en tenant compte de leur vécu, de leur histoire, de leur style. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inscrire leur nom. • Écouter, s'informer. • Participer à la discussion.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé magistral (suite)	<ul style="list-style-type: none"> • Donner un portrait général du plan de la formation (du contenu des six demi-journées) et de la recherche. <ul style="list-style-type: none"> ○ Entrevue et questionnaire avant la formation ○ 6 demi-journées de formation ○ Les demi-journées 1 et 2 porteront sur des concepts en électricité et sur la prise en compte des conceptions des élèves pour favoriser le CC ○ La demi-journée 3 permettra une consolidation des connaissances en électricité et une synthèse des pratiques d'enseignement qui favorisent le CC ○ Le contenu de la demi-journée 4 permettra de comprendre la théorie du changement conceptuel et la planification de la séquence d'enseignement en électricité va débiter. ○ La cinquième demi-journée sera consacrée à la planification et à la pratique d'une partie de leur séquence. ○ Environ un mois sera accordé pour vivre la séquence en salle de classe avec leurs élèves. La formatrice ira dans leur salle de classe pour les accompagner et les observer. ○ La sixième demi-journée sera un colloque où les enseignants feront un récit du déroulement de leur séquence ainsi qu'un entretien de groupe. ○ Enfin, une dernière entrevue et un questionnaire à remplir. • Informer les enseignants (court rappel) de l'objectif de recherche, des données à recueillir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter, s'informer. • Écouter, s'informer.
Exposé magistral (suite)	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter l'ordre du jour de la première demi-journée. <ul style="list-style-type: none"> ○ Échanges sur les attentes et craintes par rapport à la formation ○ Activité à propos d'un circuit simple qui doit être fermé et conceptions qui y sont associées. ○ Introduction de la notion de courant par le court-circuit ○ Pause ○ Défis électriques pour aborder le circuit simple avec interrupteur(s) et les différents conducteurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter, s'informer.

1.2 Échanges sur les attentes et craintes par rapport à la formation

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants d'exprimer leurs attentes, buts et craintes quant au contenu de la formation afin de leur donner confiance.

Durée 25 minutes	Types de regroupement Individuel et en grand groupe
Matériel • Une feuille pour chaque enseignant.	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Réflexion	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants d'écrire sur une feuille leurs attentes, leurs buts, leurs craintes quant au contenu de la formation (CC, électricité). Pourquoi vous êtes-vous inscrits ? Que venez-vous rechercher ici ? Qu'est-ce qui vous a motivé ? Avez-vous des craintes ? Quelles sont-elles ? *Mentionner que la formatrice va ramasser ces feuilles qui seront anonymes (donc ne pas inscrire son nom sur la feuille). • Ramasser les feuilles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Noter sur leur feuille leurs réponses personnelles. Cette partie est individuelle. • Donner leur feuille.
Commentaires et discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Lire à voix haute certains passages, certaines réponses ; choisir les réponses qui reviennent sur plusieurs feuilles. Selon les réponses, rassurer, confirmer, justifier ou relancer une question au groupe. 	<ul style="list-style-type: none"> • Partager avec les autres enseignants leurs craintes de façon indirecte, discuter des réponses des autres, prendre conscience que chacun a ses attentes et craintes qui sont parfois similaires. En groupe, participer à la discussion.
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Terminer en donnant un bref portrait de l'état de la situation de l'enseignement des sciences et de l'électricité en général pour faire sentir aux enseignants qu'ils ne sont pas les seuls à avoir des difficultés (le cas échéant), mais qu'il importe de les surmonter pour favoriser l'apprentissage des sciences chez leurs élèves. Parler des différentes sphères de développement de l'enfant (cognitif, moteur, social, affectif). Parler également du fait que la physique, dont l'électricité, posent particulièrement des difficultés aux enseignants du primaire. En faire un discours motivant mais qui ne pèsera pas trop sur leurs épaules non plus ; le relèvement de la situation ne dépend pas que d'eux ! 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter, réagir si besoin est.

Document pour l'activité 1.2

Bienvenue à cette formation sur le changement conceptuel en électricité !

En toute confiance et confidentialité, veuillez répondre aux questions suivantes:

i. Quelles raisons ont motivé votre inscription à cette formation?

ii. Quelles sont vos attentes par rapport au contenu en électricité?

iii. Quelles sont vos attentes par rapport au changement conceptuel?

iv. Quels sont vos objectifs de formation? Avez-vous des attentes précises?

iv. Avez-vous des craintes? Quelles sont-elles?

1.3 Activité à propos d'un circuit simple qui doit être fermé et conceptions qui y sont associées

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants de se familiariser avec le concept du circuit électrique fermé et avec l'existence de conceptions initiales chez les élèves. Faire imaginer aux enseignants différentes façons de faire émerger les conceptions initiales

Durée 30 minutes	Types de regroupement En équipe de deux
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Une pile, une ampoule, un fil par équipe, la feuille avec l'énoncé du problème à résoudre. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Formulation de prédictions / explicitation des conceptions	<ul style="list-style-type: none"> • Introduire l'activité en posant la question suivante : quel montage permet de faire allumer une ampoule lorsqu'on a seulement une pile, une ampoule et un fil ? Montrer le matériel qui sera disponible. Dire aux enseignants de jouer le rôle de l'élève. • Distribuer la feuille avec l'énoncé et des espaces pour dessiner des possibilités de circuits et demander aux enseignants de dessiner sur la feuille la ou les possibilités de montage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter la question et regarder le matériel disponible. • Noter sur leur feuille leurs idées de montage qui permettent de faire allumer l'ampoule.
Expérimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuer le matériel et demander aux enseignants d'essayer ce qu'ils avaient anticipé, d'évaluer si cela fonctionne. Aux équipes qui avancent rapidement, demander de trouver toutes les possibilités de montage qui fonctionnent et d'en tirer les conditions nécessaires d'un montage qui permet à une ampoule de s'allumer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Essayer les différents circuits préalablement dessinés. Évaluer s'ils fonctionnent. Trouver des possibilités de montage qui fonctionnent. Trouver les conditions nécessaires d'un circuit qui permettent à une ampoule d'être allumée avec ce matériel.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Revenir en grand groupe sur les conditions nécessaires pour que l'ampoule soit allumée. Essentiellement, le circuit doit être fermé, l'ampoule doit être branchée à deux endroits spécifiques de la goupille (chaque dispositif électrique a une entrée et une sortie). • Regarder avec les enseignants la feuille sur les parties de l'ampoule, et parler du fonctionnement de l'ampoule (incandescence). • Revenir sur le fait d'avoir posé une question au début de l'activité. Qu'est-ce que cela a permis ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la discussion sur les conditions nécessaires pour faire allumer l'ampoule. • Comprendre les parties de l'ampoule et son fonctionnement • Réponse possible : cela a permis de réfléchir, d'imaginer des réponses possibles, de s'exprimer par rapport au problème.
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Expliquer que ces idées de départ sont nommées <i>conceptions initiales</i>. Expliquer que les élèves ont souvent des conceptions initiales par rapport aux problèmes scientifiques, lesquelles ont différentes origines et sont bien ancrées. Souligner le fait que ces conceptions initiales ne sont pas toujours exactes par rapport aux concepts scientifiques au programme. Mentionner que ce qu'on considère comme une erreur peut être une manifestation d'une conception (et non simplement un manque d'attention ou d'écoute). 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter.
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants de trouver quelles sont les conceptions initiales fréquentes qui sont erronées selon eux par rapport à la présente activité. • Spécifier que la conception de l'unipôle est très fréquente, de même que la conception du modèle de la règle empirique, qui y est souvent associée. Faire le lien avec les conceptions mentionnées par les enseignants. Aborder d'autres conceptions fréquentes (modèles) s'il y a lieu. Parler de la logique derrière les conceptions initiales (ce ne sont pas simplement des erreurs d'inattention ni nécessairement des réponses inventées sur le champ). 	<ul style="list-style-type: none"> • À partir de leurs essais qui n'ont pas fonctionné, faire émerger les conceptions comme celle de l'unipôle, par exemple, ou simplement l'idée du circuit ouvert. • Faire les liens entre les conceptions diagnostiquées par les enseignants et les conceptions fréquentes (les modèles)
Travail individuel et discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants de trouver des moyens de faire émerger les conceptions des élèves. Une discussion s'ensuit pour mettre en commun les idées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Noter leurs idées sur une feuille et participer à la discussion pour partager leurs idées.

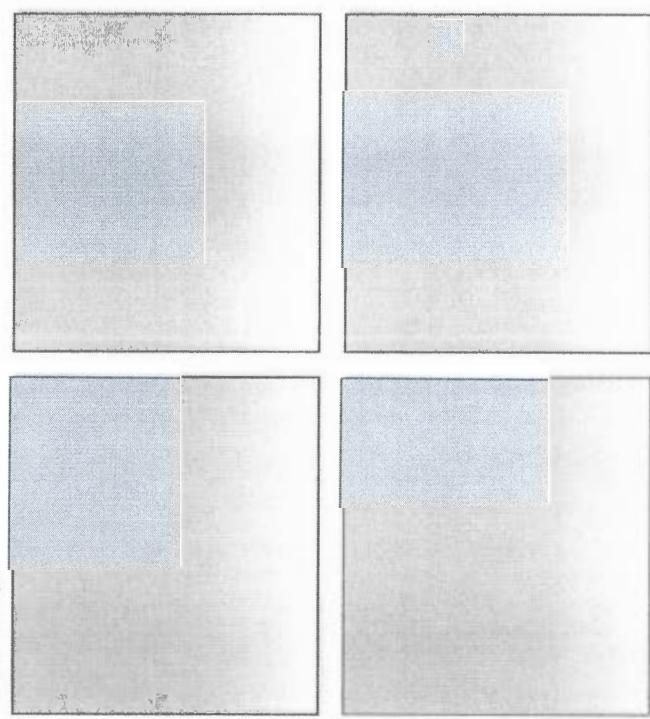
Document pour l'activité 1.3

Nom : _____

Quel(s) montage(s) permet de faire allumer une ampoule ?

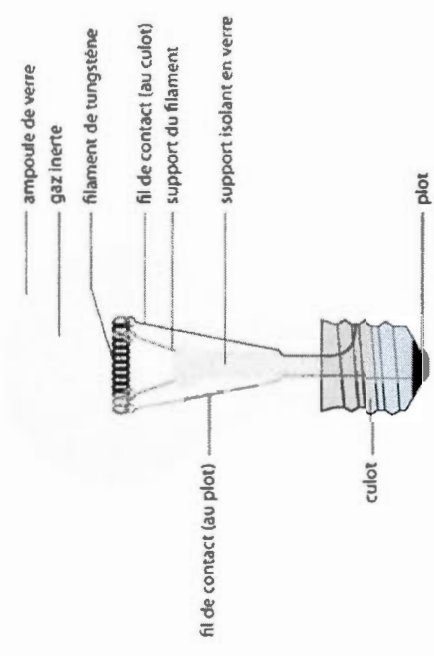
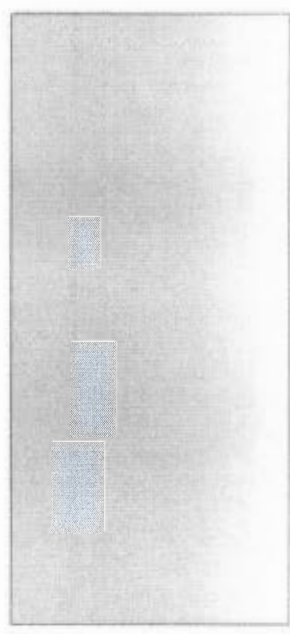
- Matériel disponible :
- Une pile AA
 - Un fil avec pinces alligators
 - Une ampoule

Dessiner votre(vos) idée(s) de montage :



Une fois vos montages tracés, testez-les, et notez si l'ampoule s'est allumée ou non à côté de chacun de vos dessins.

Selon vous, quelles sont les conditions nécessaires à réunir pour faire en sorte qu'une ampoule s'allume dans un montage de circuit simple ?



1.4 Introduction de la notion de courant par le court-circuit

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants de se familiariser avec le concept de courant, avec le concept de court-circuit, avec l'importance du questionnement et de la discussion ainsi que l'importance de mettre les conceptions initiales au cœur du problème.

Durée 30 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Une pile 9 volts OU une source, deux ampoules, des fils alligators, un fil de nichrome. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Attention au nichrome qui chauffe.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Relier les deux bornes d'une pile 9 volts ou d'une source avec un fil de nichrome. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regarder le montage.
Analyse	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants ce qu'ils remarquent (en utilisant leur vue, le toucher... différents sens) et comment ils interprètent ce qui se passe (le nichrome chauffe, alors ils peuvent interpréter qu'un flux circule). Proposer aux enseignants de le noter. • Aborder la sécurité : le fil va chauffer. En profiter pour aborder la sécurité en général : pas de risques de chocs électriques avec les petits circuits qu'on fait. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observer et toucher le circuit (le court-circuit en fait). Essayer de s'expliquer ce qui se passe. Noter leur explication. • Écouter les règles de sécurité.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Expérimentation, analyse et interprétation	<ul style="list-style-type: none"> • Puis, demander aux enseignants d'interpréter ce qui se passe dans un circuit fermé avec une ampoule (comme dans un des montages des activités précédentes) à partir de l'interprétation qu'ils font de l'aluminium qui chauffe. Le terme de courant peut être mentionné si les enseignants semblent avoir besoin de précision. La formatrice circule de table en table et interagit avec les participants selon où ils en sont. <ul style="list-style-type: none"> ○ À ceux qui ont l'air de dire que le courant est consommé, la formatrice leur demande de mettre deux ampoules en série et de lui dire si l'une est moins lumineuse que l'autre (selon leur conception, la « première » serait plus intense que la « deuxième »). La formatrice leur demanderait d'interpréter pourquoi elles sont aussi lumineuses l'une que l'autre. Elle leur demanderait également de comparer avec un circuit avec une seule ampoule, et de dire ce qu'on peut dire du courant. Le but est de comparer ces deux circuits ainsi que le court-circuit et d'interpréter la notion de courant. ○ Élaborer avec les enseignants la définition du courant. Présenter une petite analogie (au moins pour qu'ils comprennent que le courant s'établit, c'est-à-dire que les électrons sont déjà présents dans les fils). Expliquer que tous les électrons sont déjà présents dans les fils et que lorsque le circuit est fermé, les électrons se mettent en branle tous en même temps, plus ou moins intensément selon les résistances qui sont sur leur chemin. Le courant est associé à une chaîne humaine qui circule (des électrons). Cette chaîne humaine et doit traverser des murs de mousse (des résistances) qui se dressent sur son chemin. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser son interprétation précédente pour expliquer ce qui se passe dans un circuit avec une ampoule. Noter. Poser des questions à la formatrice, s'il y a lieu, ou répondre aux questions de la formatrice quand elle passe. • En comparant le court-circuit, le circuit simple avec une ampoule et le circuit en série avec deux ampoules, tenter de se prononcer sur l'idée de courant, de flux d'électrons. • Participer à l'élaboration de la définition.
Démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Faire une démonstration avec deux interrupteurs (un chaque côté de l'ampoule), ou avec un moteur qu'on change de côté pour montrer qu'il tourne dans deux sens. La formatrice en profitera pour discuter à nouveau de la conception du modèle de l'unipôle, et possiblement pour aborder le modèle du courant qui se rencontre dans le dispositif. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regarder la démonstration et participer à la discussion.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Faire une démonstration d'un circuit avec une ampoule et un court-circuit, avec un interrupteur. • Demander aux enseignants leur prédiction de ce qui va se passer. • Conclure que le courant va passer où il y a une résistance presque nulle et qu'il s'agit d'un court-circuit. • Montrer une démonstration de court-circuit avec 2 ampoules en série, dont l'une est court-circuitée. • Demander aux enseignants leur prédiction de ce qui va se passer. • Conclure que le courant va passer où il y a une résistance presque nulle et qu'il s'agit d'un court-circuit. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regarder le circuit élaboré. • Faire une prédiction. • Comprendre la notion de court-circuit. • Regarder le circuit élaboré. • Faire une prédiction. • Comprendre la notion de court-circuit.
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Animer un retour sur la notion de courant et sur l'importance de considérer le circuit comme un tout. • Animer un retour sur l'importance du questionnement, de la discussion et sur l'importance de proposer des situations qui mettent les conceptions au cœur du problème. Demander aux enseignants de nommer les pratiques d'enseignement que la formatrice a utilisées dans cette activité pour faire expliciter les conceptions (questionnement, considérer les conceptions initiales, mettre les conceptions au cœur des activités et des questions, manipulations). 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la discussion. • Se remémorer l'activité et participer à la discussion en nommant des pratiques observées.

Pause de 15 minutes

1.5 Défis électriques pour aborder le circuit simple avec interrupteur(s) et les différents conducteurs

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants de réinvestir l'idée du circuit fermé avec interrupteur, avec différents conducteurs, avec plusieurs fils et avec des ampoules. Les amener à prendre conscience de l'importance de revenir sur les concepts ainsi que sur les manipulations.

Durée 70 minutes	Types de regroupement Individuel
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Pour chaque enseignant, deux piles AA, deux ampoules, des fils alligators, deux interrupteurs, document des défis. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé / consignes	<ul style="list-style-type: none"> Présenter l'activité comme une suite de défis. Montrer le matériel disponible, parler rapidement de son accessibilité dans les écoles. Expliquer les termes « ouvert » et « fermé » en opposition avec « lumières éteintes » et « lumières allumées ». Dire aux enseignants de faire comme s'ils étaient des élèves. Énoncer les règles du jeu : <ul style="list-style-type: none"> Un défi à la fois. Pas de consultation ou d'échanges entre les participants. Le plus possible, d'abord dessiner son hypothèse de circuit puis la tester. Lever la main pour homologation si le défi est relevé et tracé. Pour homologation et pour passer au défi suivant, il faut avoir réalisé le dessin et le circuit qui correspond au défi. 	<ul style="list-style-type: none"> Écouter les règles, regarder le matériel disponible.
Expérimentation / résolution de problème	<ul style="list-style-type: none"> Distribuer les feuilles avec les défis (un défi par page avec beaucoup d'espace pour dessiner). Demander d'inscrire leur nom. Lancer les défis et circuler pour les homologations. 	<ul style="list-style-type: none"> Prendre la feuille, inscrire son nom. Tenter de relever les défis, lever la main pour homologation quand c'est fait, etc.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Capsule d'information / exposé	<ul style="list-style-type: none"> • À un moment donné pendant les défis, indiquer les symboles à utiliser pour faire les dessins. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser les symboles pour dessiner les hypothèses de circuit à partir de ce moment-là.
Accompagnement pendant les défis et différenciation	<ul style="list-style-type: none"> • Quand tous les enseignants ont terminé les défis 1 et 2, faire un retour en grand groupe (faire tracer un schéma ou un dessin au tableau, nommer les composantes, parler de l'entrée et de la sortie de l'ampoule même si elle est employée avec un support à ampoule). • Si un enseignant a beaucoup de difficulté pour le défi 4, l'aider en lui disant de faire un circuit avec une ampoule et un interrupteur d'abord et de trouver comment ajouter une deuxième ampoule et son interrupteur sans modifier cette première partie du montage. • Proposer aux enseignants plus rapides le défi 7 s'ils terminent avant les autres ou leur proposer d'inventer un défi et sa solution. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer au retour. • Faire les efforts nécessaires pour relever le défi. • Relever le défi 7 ou inventer un défi.

Contenu du document pour l'activité 1.5 (les défis électriques¹⁰).

DÉFI 1 :

Quand on ferme l'interrupteur, une ampoule s'allume. Quand on ouvre l'interrupteur, cette ampoule s'éteint.

Les défis électriques...

Matériel à votre disposition :

- Deux piles AA
- Un support à piles
- Deux ampoules
- Deux supports à ampoule
- Plein de fils à pinces alligators
- Deux interrupteurs

Les règles du jeu :

- Se consacrer à un défi à la fois.
- Les consultations entre participants sont interdites.
- Si possible, d'abord dessiner son idée de circuit puis tester cette idée.
- Lever la main pour homologation quand le défi est relevé et tracé.
 - Pour homologation, il faut le dessin et le montage du circuit qui correspondent au défi relevé.
- Après homologation, passer au défi suivant.

Votre nom : _____

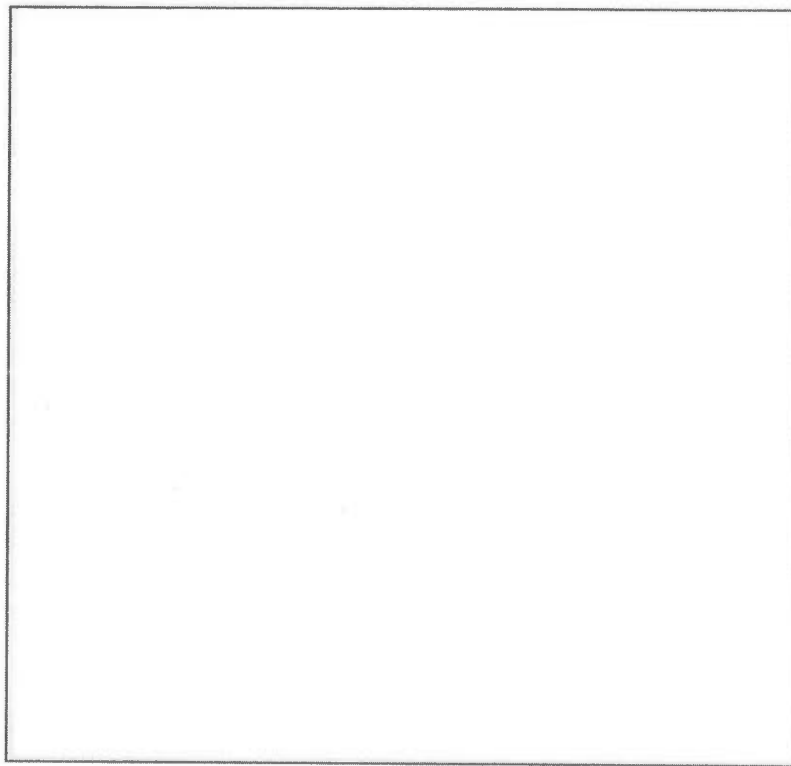
Au signal, tournez cette page... Amusez-vous bien !

Homologation : _____ Heure : _____

¹⁰ Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. et Fournier, F. (2010). Problem-centered learning vs. teaching-centered learning in science at the secondary level: An analysis of the dynamics of doubt. . *Journal of Applied Research on Learning*, 3, Article 5, 1-24.

DÉFI 2 :

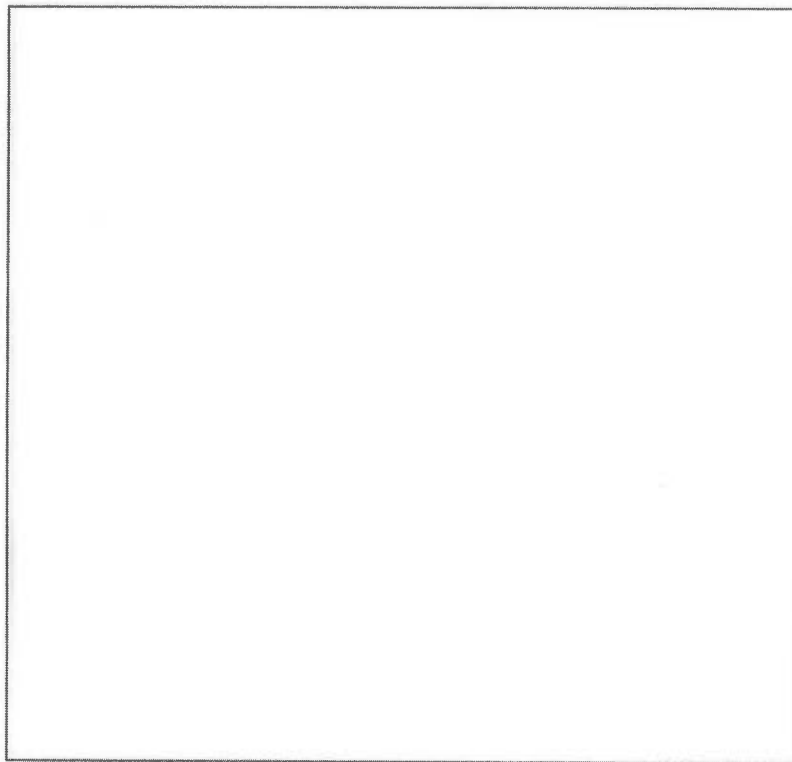
Quand on ferme l'interrupteur, une ampoule s'allume. Quand on ouvre l'interrupteur, cette ampoule s'éteint. Cependant, le courant doit avoir traversé quatre objets au choix (n'importe quels objets ; une fourchette, un crayon, une fermeture-éclair, etc.)



Homologation : _____ Heure : _____

DÉFI 3 :

Quand on ferme l'interrupteur, deux ampoules s'allument. Quand on ouvre l'interrupteur, les ampoules s'éteignent.



Homologation : _____ Heure : _____

DÉFI 4 :

L'interrupteur A fait allumer l'ampoule 1. L'interrupteur B fait s'allumer l'ampoule 2.

DÉFI 5 :

Il faut nécessairement fermer les deux interrupteurs en même temps pour faire s'allumer l'ampoule. * Réaliser ce défi sans utiliser les supports à ampoule.

DÉFI 6 :

Il faut fermer l'un ou l'autre des deux interrupteurs pour faire s'allumer l'ampoule. Quand on ferme les deux interrupteurs en même temps, l'ampoule s'allume également.

DÉFI 7

Sans qu'on appuie sur l'interrupteur, une ampoule est allumée. Quand on appuie sur l'interrupteur, une nouvelle ampoule s'allume. (Il faut qu'elle allume autant que la première).

DEUXIÈME DEMI-JOURNÉE

BUT : Introduire les notions didactiques de conflit cognitif, de changement des conceptions, d'analogie et les notions scientifiques par rapport aux circuits en parallèle et en série, au court-circuit ainsi que par rapport à l'interaction entre le courant, la tension et les résistances

ORDRE DU JOUR	
2.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour	5 minutes
2.2 Retour sur les défis électriques	20 minutes
2.3 Activité sur le conflit sociocognitif par la confrontation de prédictions portant sur les défis où les circuits en parallèle et en série sont explorés (pause incluse)	70 minutes
2.4 Analyse de schémas et de dessins pour discuter de l'emploi de différentes aides à penser (représentations) et de l'importance de faire un retour sur les concepts	60 minutes
2.5 Activité de comparaison de circuits dans le but d'explorer les effets et les interactions entre les différentes variables d'un circuit (tension, courant et résistance) pour ensuite aborder l'analogie (début)	25 minutes
TOTAL :	180 minutes

2.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour

Intention de la formatrice : Accueillir les enseignants, les rendre confortables par rapport aux pratiques d'enseignement vues pendant la formation et leur présenter l'ordre du jour de la rencontre.

Durée 5 minutes	Types de regroupement Individuel et en grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Ordre du jour au tableau ou sur une feuille. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Conversation dirigée	<ul style="list-style-type: none"> • Accueillir les participants. • Demander aux enseignants quels sont les concepts que nous avons abordés en électricité lors de la première rencontre (ampoule, circuit fermé, courant partout le même), les conceptions fréquentes dont nous avons discutées, les constations effectuées lors des défis. Demander quelles pratiques d'enseignement la formatrice a utilisées avec eux (questionnement, résolution d'un problème, discussions, mettre les conceptions au cœur du problème, prise en compte des conceptions, manipulations). 	<ul style="list-style-type: none"> • Arriver et s'installer. • Participer à la discussion.
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter l'ordre du jour : <ul style="list-style-type: none"> ○ Retour sur les défis électriques ○ Activité sur le conflit sociocognitif par la confrontation de prédictions des défis portant sur les circuits en parallèle et en série (pause incluse) ○ Analyse de schémas et de dessins pour discuter de l'emploi de différentes aides à penser (représentations) et de l'importance de faire un retour sur les concepts ○ Activité de comparaisons de circuits dans le but d'explorer les effets et les interactions entre les différentes variables d'un circuit (tension, courant et résistance) 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter et s'informer.

2.2 Retour sur les défis électriques

Intention de la formatrice : Revenir sur les défis électriques afin de revenir sur la notion de circuit fermé, sur les interprétations des intensités lumineuses, sur les concepts d'énergie, de courant, de tension et de résistance ainsi que sur les pratiques favorisant l'apprentissage.

Durée 20 minutes	Types de regroupement Individuel et en grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Diaporama des photos de leurs croquis ou schémas (1 ou 2 par défi, pour montrer qu'il peut y avoir plusieurs réponses possibles), feuilles imprimées du diaporama. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Réflexion individuelle et discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter un diaporama avec les croquis ou schémas de chaque défi (tirés de leurs copies) et demander ce qu'ils avaient remarqué ou interprété (intensité lumineuse, courant). Revenir sur l'idée de circuit fermé, sur les interrupteurs, sur l'idée d'entrée et de sortie des ampoules. Indiquer que l'intensité lumineuse donne un indice de l'intensité du courant. • Distinguer le concept d'énergie des autres concepts (courant, tension et résistance). 	<ul style="list-style-type: none"> • Essayer d'interpréter ce qui se passe dans les circuits (par rapport à l'intensité, au rôle des interrupteurs, au courant, etc.). Puis, participer à la discussion. • Comprendre qu'on peut parler de transfert d'énergie, mais <u>séparément des autres concepts</u>.
	<ul style="list-style-type: none"> • Faire un retour sur l'activité, par rapport aux éléments du CC. <ul style="list-style-type: none"> ○ Demander quels moyens ont été utilisés pour que les conceptions s'expriment. Quelles étaient les conceptions initiales qui ne fonctionnaient pas pour chaque circuit (aborder les conducteurs, les conceptions relatives au courant, les résistances, et possiblement la tension) ? ○ Demander à quoi sert les manipulations (le test permet d'avoir une réponse de la part de la nature). ○ Souligner aux enseignants le réemploi du concept précédent (circuit complet est fermé) dans une nouvelle activité. Préciser qu'avec des élèves un défi 0 (faire allumer une ampoule) pourrait être ajouté s'ils n'ont pas fait l'activité 1.3. ○ Souligner l'importance de la synthèse, de la structuration. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la discussion.

2.3 Activité sur le conflit sociocognitif par la confrontation de prédictions portant sur les défis à propos des circuits en parallèle et en série

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants de vivre un conflit cognitif, ou d'en voir la possibilité, et de distinguer les circuits en série des circuits en parallèle. Les outiller par rapport aux pratiques qui suscitent le conflit cognitif et au sujet des circuits en parallèle et en série.

Durée 70 minutes (pause incluse)	Types de regroupement Individuel et en équipe
Matériel • Trois ampoules, plusieurs fils alligators, piles, deux interrupteurs pour chaque équipe	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Prédiction / conceptions initiales	<ul style="list-style-type: none"> Proposer aux enseignants le défi électrique A, (faire allumer 3 ampoules aussi fortement que s'il y en avait une seule) et le défi B (faire allumer trois ampoules faiblement, plus faiblement qu'au défi précédent). Demander aux enseignants de faire un schéma de leur hypothèse de circuit qui permet de répondre au défi A. 	<ul style="list-style-type: none"> Écouter, prendre compte du défi à relever. Tracer le schéma, le dessin du circuit qui répond au défi, selon leurs connaissances actuelles. Inscrire son nom sur la feuille.
Débat / conflit cognitif	<ul style="list-style-type: none"> Ramasser les différentes réponses puis former des équipes de deux enseignants qui n'ont pas le même point de vue afin qu'ils comparent leur réponse et débattent. Si les enseignants ont tous la même hypothèse de départ, souligner la possibilité de débat. Demander aux participants de comparer leur schéma respectif, de se les expliquer et de se convaincre pour faire consensus pour l'un ou pour l'autre. Une fois le consensus fait, ils testent le circuit. 	<ul style="list-style-type: none"> Donner sa feuille et se mettre en équipe avec la personne assignée par la formatrice. Essayer de se convaincre mutuellement, puis lorsqu'ils se sont entendus, ils testent le circuit.
Analyse / interprétation d'un phénomène	<ul style="list-style-type: none"> À ceux qui terminent plus rapidement, leur soumettre le défi B et leur demander de le comparer avec un circuit qui a une seule ampoule (comparer les intensités, leur demander quelles sont les ressemblances et les différences, leur demander quel est l'impact sur la pile...). 	<ul style="list-style-type: none"> Faire une prédiction, tester. Puis comparer les intensités des ampoules des deux circuits, pointer les ressemblances et les différences, essayer de trouver quelle est la différence pour la pile.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Discussion pour une structuration	<ul style="list-style-type: none"> • À la fin de l'activité, leur demander de noter ce qu'ils retiennent à propos du courant dans les circuits testés. • Leur demander comment ils ont trouvé le débat à deux. Comment se sont-ils sentis ? Quel engagement cela a-t-il suscité ? Comment ont-ils réussi à convaincre ou pourquoi s'être laissé convaincre ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Noter ce qu'ils retiennent du courant au meilleur de leurs connaissances. • Participer à la discussion. Partager selon ce qu'ils ont vécu (convaincre ou avoir été convaincu).
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Expliquer que le but visé était le conflit cognitif, une des stratégies qui engage la conception initiale et qui permet de s'en rendre insatisfait si elle ne fonctionne pas dans la situation. Dans ce cas-ci, on peut parler de conflit sociocognitif puisqu'il intervenait d'abord entre personnes. Discuter de la planification en fonction du conflit cognitif : réfléchir à la composition des groupes, au matériel de soutien au conflit, au rôle de l'enseignant (ce qu'il faut faire, comment il faut le faire, ce qui permet de savoir si j'ai réussi). • Mentionner qu'on peut susciter des conflits cognitifs avec des expérimentations, des démonstrations, de l'information (un texte qui révèle une information contre-intuitive). • Discuter de la capacité des enfants à discuter en groupe et à échanger sans se ranger nécessairement derrière un leader, par exemple. • Demander aux enseignants ce qu'il faut faire, comment il faut faire et ce qui leur permettra de savoir qu'ils ont réussi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter l'explication de la notion de conflit cognitif. • Écouter l'explication des autres moyens qui favorisent un conflit cognitif. • Participer à la discussion. • Participer à la discussion.

Document pour l'activité 2.3 (les défis électriques¹¹)

Encore deux défis électriques !

Modification des règles du jeu :

- Se consacrer à un défi à la fois.
- Les consultations entre participants sont interdites.
- D'abord dessiner son idée de circuit.
- ** Remettre sa prédiction à la formatrice.
- Débattre avec un enseignant qui a une prédiction différente et changer son point de vue ou amener l'autre à changer le sien.
- Si consensus, tester l'idée retenue.
- Lever la main pour homologation si le défi est relevé OU dessiner une autre possibilité et la tester ensuite.
 - Pour homologation, il faut le dessin et le montage du circuit qui correspondent au défi relevé.
- Après homologation, passer au défi suivant, en équipe.

Votre nom : _____

Au signal, tournez cette page... Amusez-vous bien !

DÉFI A :

Quand on ferme l'interrupteur, trois ampoules s'allument assez fortement (aussi fort que si on n'avait qu'une seule ampoule)

DÉFI B :

Quand on ferme l'interrupteur, trois ampoules s'allument faiblement (plus faiblement que dans le défi précédent).

¹¹ Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. et Fournier, F. (2010). Problem-centered learning vs. teaching-centered learning in science at the secondary level: An analysis of the dynamics of doubt. . *Journal of Applied Research on Learning*, 3, Article 5, 1-24.

2.4 Analyse de schémas et dessins pour discuter de l'emploi de différentes aides à penser (représentations) et de l'importance de faire un retour sur les concepts

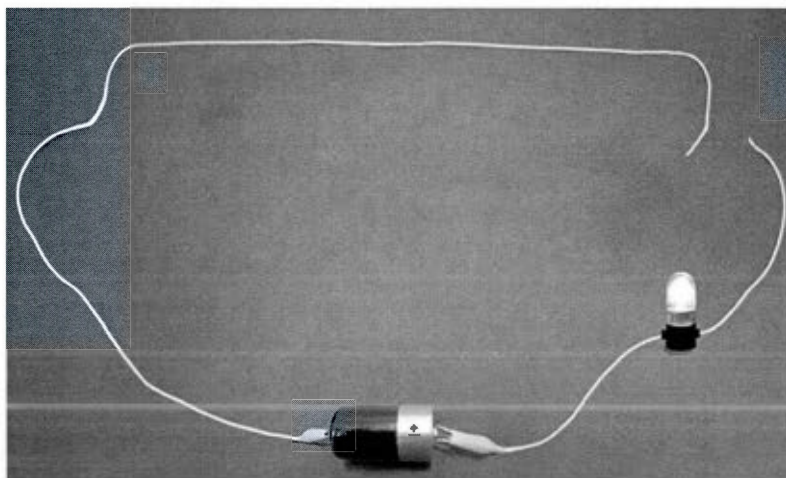
Intention de la formatrice : Revoir les concepts, souligner l'importance de l'emploi de différentes représentations et de partir des conceptions pour prédire ce qui se passera empiriquement.

Durée 60 minutes	Types de regroupement Individuel et en grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Diaporama d'images de circuit, ainsi que 3 ampoules, des fils alligators, des piles et un interrupteur pour faire des démonstrations. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Explication de conceptions et prédictions	<ul style="list-style-type: none"> • Montrer des images sur support papier ou PowerPoint de différents schémas de circuits (environ une douzaine – avec des images au début, puis avec des symboles ensuite). Mentionner d'observer attentivement l'intensité des ampoules. • Lors du passage aux circuits dessinés à l'aide des symboles, demander aux participants de venir tracer au tableau les différents symboles utilisés pour dessiner des circuits électriques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser chaque schéma et répondre aux questions pour chacun d'eux. • Participer, aller dessiner des symboles au tableau.
Explication de conceptions et prédictions (suite)	<ul style="list-style-type: none"> • Selon les images, demander aux enseignants soit de répondre vrai ou faux, ou de décrire le circuit et ses composantes. Leur demander, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> ○ L'ampoule ou les ampoules allume(nt)-elle(s) ? ○ Quelle sera l'intensité des ampoules si elles s'allument (en comparaison avec un circuit qui aurait une seule ampoule) ? ○ Comment qualifiez-vous le courant dans chaque circuit (souligner à nouveau la correspondance qui peut être effectuée entre l'intensité du courant et l'intensité lumineuse) ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les enseignants notent leurs prédictions.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Si nécessaire, faire une démonstration de chacun des circuits afin que les enseignants puissent corroborer ou non leurs interprétations, leurs réponses aux questions. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regarder attentivement les démonstrations puis compléter ou changer les réponses au besoin.
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Une fois que les enseignants ont terminé, poser des questions comme : <ul style="list-style-type: none"> ◦ Quelle est la différence entre un circuit en série et un circuit en parallèle (schéma, intensité du courant, des ampoules...) ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les enseignants participent à la discussion.
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Faire un retour sur l'importance de l'emploi de différentes façons de représenter un phénomène. De parfois partir de modèles pour manipuler, ou de manipulations pour élaborer des modèles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les enseignants écoutent.

Exemple d'une image montrée lors de l'activité 2.4



Sont entre autres incluses dans ce diaporama des images de conceptions initiales fréquentes erronées, de court-circuits dans différents contextes et de circuits où on voit l'influence de la tension (plusieurs piles) ainsi que l'effet d'ampoules différentes dans un circuit en série et en parallèle.

2.5 Activité de comparaison de circuits dans le but d'explorer les effets et les interactions entre les différentes variables d'un circuit (tension, courant et résistance) pour ensuite aborder l'analogie (début)

Intention de la formatrice : Aborder les concepts de courant, de tension et de résistance ainsi que leurs relations et en profiter pour parler de l'analogie comme stratégie pour structurer les concepts scientifiques.

Durée 25 minutes	Types de regroupement En équipe, en grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Pour chaque équipe, une résistance, 4 piles D, plusieurs fils alligators, 3 ampoules 2,5V 0,2A qui se vissent, une ampoule 6,3V 0,2A qui se visse, une sonnerie, un moteur, la feuille avec des comparaisons de montages. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé	<ul style="list-style-type: none"> Faire remarquer que depuis le début, ils ont toujours utilisé deux piles AA... Leur dire que dans le cadre de cette activité, ils vont être amenés à faire varier différents paramètres en comparant différents circuits, selon les schémas tracés (différents paramètres du circuit) dont les piles pour voir les effets que ces changements occasionnent. Souligner également que depuis le début, ils utilisent des résistances identiques (des ampoules 2,5V) et que dans ces comparaisons, ils verront les effets de résistances différentes (la résistance varie d'un dispositif à l'autre). 	<ul style="list-style-type: none"> Écouter, prendre compte de l'activité.
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> Proposer aux participants différentes comparaisons en leur demandant de noter ce qui change et ce qui est pareil, et de noter leurs observations ainsi que leurs interprétations. 	<ul style="list-style-type: none"> Participer à la discussion pour comprendre comment et pourquoi il faut faire varier une variable à la fois.
Expérimentation	<ul style="list-style-type: none"> Distribuer le matériel, les laisser essayer les différents montages qui sont sur la feuille. Leur indiquer qu'ils doivent minimalement noter l'effet sur l'intensité, sur le courant, sur le type de circuit, sur les résistances... * Cette activité se poursuit à la troisième rencontre. 	<ul style="list-style-type: none"> Faire différents essais (ajouter plusieurs piles, enlever une pile, mettre les piles à différents endroits dans le circuit). Noter ses observations quant à la luminosité des ampoules et ses interprétations quant au courant.

Comparaisons à tracer pour l'activité 2.5 :

- Comparaison 1 : Un circuit avec 1 ampoule, un circuit avec 2 ampoules en série, un circuit avec 3 ampoules en série (tous avec 3 piles).
- Comparaison 2 : Un circuit avec 1 ampoule et 2 piles, un circuit avec 1 ampoule et 4 piles.
- Comparaison 3 : Un circuit avec 1 ampoule et 2 piles, un circuit avec 2 ampoules en série et 4 piles.
- Comparaison 4 : Un circuit avec 1 ampoule et 2 piles, un circuit avec 2 ampoules en parallèle et 2 piles.
- Comparaison 5 : Un circuit avec 2 ampoules en série (les ampoule 2,5V 0,2A employées depuis le début de la formation) et 4 piles, un circuit avec 2 ampoules en série (une de 2,5V 0,2A et une de 6,3V 0,2A) et 4 piles.
- Comparaison 6 : Un circuit avec 2 ampoules en série (une de 2,5V 0,2A et une de 6,3V 0,2A) et 4 piles, un circuit avec 2 ampoules en parallèle (une de 2,5V 0,2A et une de 6,3V 0,2A) et 4 piles.
- Comparaison 7, en extra : Un circuit avec 3 ampoules en série et deux piles, un circuit avec une ampoule en série avec une résistance et deux piles.
- Pour les rapides, proposer d'explorer le moteur ou la sonnerie dans des circuits.

TROISIÈME DEMI-JOURNÉE

BUT : Introduire les notions didactiques de conflit cognitif, de changement des conceptions, d'analogie et les notions scientifiques par rapport aux circuits en parallèle et en série, au court-circuit, à l'interaction entre le courant, la tension et les résistances (suite).

ORDRE DU JOUR	
3.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour	10 minutes
3.2 Suite et fin de l'activité 2.5 sur les comparaisons et les analogies (pause incluse)	125 minutes
3.3 Retour sur les concepts en électricité vus lors des première et deuxième rencontres	25 minutes
3.4 Présentation d'un projet en électricité et de ses contraintes	20 minutes
TOTAL	180 minutes

3.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour

But : Accueillir les enseignants et leur présenter l'ordre du jour de la rencontre afin de les éclairer quant au programme de la demi-journée.

Durée 10 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Ordre du jour sur une feuille ou au tableau. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Accueillir les participants. • Leur demander quelles pratiques d'enseignement la formatrice utilise avec eux pendant la formation. • Présenter l'ordre du jour : <ul style="list-style-type: none"> ○ Suite et fin de l'activité sur les comparaisons et les analogies (pause incluse) ○ Retour sur les concepts en électricité vus lors des première et deuxième rencontres ○ Présentation d'un projet en électricité en respectant quelques contraintes 	<ul style="list-style-type: none"> • Arriver et s'installer. • Nommer les pratiques observées qui ont été modelées. • Écouter et s'informer.

3.2 Suite et fin de l'activité 2.5 sur les comparaisons et les analogies

Intention de la formatrice : Aborder les concepts de courant, de tension et de résistance ainsi que leurs relations et en profiter pour parler de l'analogie comme stratégie pour structurer les concepts scientifiques.

Durée 125 minutes (pause incluse)	Types de regroupement En équipe, en grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Pour chaque équipe, une résistance, 4 piles D, plein de fils alligators, 3 ampoules 2,5V 0,2A qui se vissent, une ampoule 6,3V 0,2A qui se visse, une sonnerie, un moteur, la feuille avec des comparaisons de montages. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

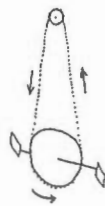
	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Expérimentation	<ul style="list-style-type: none"> Distribuer le matériel, laisser les enseignants essayer les différents montages qui sont sur la feuille. Leur indiquer qu'ils doivent minimalement noter l'effet sur l'intensité, sur le courant, sur le type de circuit et sur les résistances. Demander de tenter de trouver les relations entre les concepts de courant, de tension et de résistance dans ces comparaisons 	<ul style="list-style-type: none"> Faire différents essais (additionner plusieurs piles, enlever une pile, mettre les piles à différents endroits dans le circuit et noter ses observations quant à la luminosité des ampoules et ses interprétations quant au courant, à la tension et aux résistances).
Démonstration	<ul style="list-style-type: none"> Animer un retour oral sur les différentes comparaisons. Pour certaines comparaisons moins comprises par les enseignants, effectuer une démonstration et mesurer le courant et la tension avec un multimètre. 	<ul style="list-style-type: none"> Participer à la discussion. Comparer les données qualitatives avec les données quantitatives pour trouver les relations entre la tension, le courant et la résistance.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Réflexion et discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants ce qu'on peut dire des ampoules et des résistances. • Demander aux enseignants quelles analogies ils proposeraient pour expliquer la notion de courant et de tension. • Présenter ou discuter (si l'analogie en question a été amenée par des enseignants) des analogies fréquentes employées en électricité : la chaîne de vélo ou le train. Une fois l'analogie mentionnée (seulement nommée), demander aux enseignants de trouver les composantes isomorphes entre l'analogie et l'électricité, ainsi que les limites de l'analogie. Préciser que l'analogie peut aider les élèves à comprendre, mais qu'il importe de souligner les limites avec eux et qu'il vaut mieux les présenter en fin d'apprentissage, pour revenir sur les concepts, qu'au tout début pour ne pas engendrer ou conforter de fausses conceptions. • Revenir en grand groupe sur les composantes isomorphes et sur l'emploi de l'analogie (les limites, le contexte pour l'utiliser...). 	<ul style="list-style-type: none"> • Les enseignants proposent des réponses (la résistance est la même, elle ne varie pas quand on varie le circuit). • Les enseignants, selon leurs souvenirs ou leurs connaissances, essaient de proposer des analogies. • Tracer sur une feuille un tableau qui mentionne chaque composante de l'analogie et qui spécifie la composante isomorphe en électricité. Tenter de trouver les limites de l'emploi de l'analogie, ou le contexte idéal pour l'utiliser. • Participer à la discussion.
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants de cibler quelles sont les confusions possibles entre courant et différence de potentiel ainsi que leurs liens, puis faire un retour sur ces notions à partir de leurs réponses. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réfléchir aux différences et aux liens entre le courant et la tension, puis participer à la discussion.

Documents pour l'activité 3.2 – les analogies

L'analogie de la chaîne de vélo

Chaîne de vélo



Circuit électrique



Figure 1 : Tirée de Summers, Krueger et Mant (1998)

VÉLO	ÉLECTRICITÉ
Les pédales	
Les chaînons	
Les chaînons en déplacement	
L'engrenage de la roue arrière	

L'analogie du train

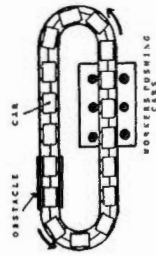


Figure 2 : Tirée de Dupin et Jadhav (1989)

TRAIN	ÉLECTRICITÉ
Mouvement des wagons	
Obstacles	
Les rails formant une boucle fermée	
Les travailleurs qui poussent les wagons	
Fatigue musculaire des travailleurs	

3.3 Retour sur les concepts en électricité vus lors des première et deuxième rencontres

Intention de la formatrice : Revoir les concepts en électricité.

Durée 25 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Images de circuits (utiliser les dessins des circuits tracés lors des défis électriques et les images de l'activité 2.4), matériel pour faire les démonstrations (idéalement avoir préalablement préparé les montages OU simplement montrer les images où on voit si les ampoules sont allumées ou non). 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Questionnement / débat	<ul style="list-style-type: none"> Indiquer que le but de l'activité est de revenir sur les contenus vus précédemment, et possiblement de pousser un peu plus loin leurs connaissances à partir de ce qu'ils maîtrisent. Montrer les schémas de montage vus et demander de lever la main s'ils pensent que le circuit fonctionne (que les ampoules allument). Demander des arguments qui vont dans le sens de leur position. 	<ul style="list-style-type: none"> Écouter le but. Participer en levant la main pour la prédiction choisie et en argumentant en faveur de celle-ci.
Démonstration	<ul style="list-style-type: none"> Si nécessaire, faire une démonstration du circuit avec du matériel ou seulement avec l'image qui s'anime ou non. 	<ul style="list-style-type: none"> Regarder la démonstration et voir en quoi leur prédiction est corroborée ou non et pourquoi.
Questionnement	<ul style="list-style-type: none"> Demander quelles conceptions peuvent être mises en jeu par rapport à chaque circuit présenté. 	<ul style="list-style-type: none"> Réfléchir aux différentes conceptions initiales fréquentes vues précédemment et trouver laquelle ou lesquelles peuvent être mises en jeu selon les circuits présentés.
Questionnement / débat, démonstration	<ul style="list-style-type: none"> Vers la fin, montrer des circuits avec des résistances, voire des circuits mixtes pour voir quelles prédictions ils font à partir de leurs connaissances. Continuer avec la même formule en grand groupe (faire lever la main, demander des raisons qui appuient leur position, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> Participer comme précédemment.

Documents : une sélection des images de l'activité 2.4 et des photos des dessins ou schémas des enseignants réalisés lors des défis électriques

3.4 Présentation d'un projet en électricité et de ses contraintes


Intention de la formatrice : Présenter un projet : son cahier de charges, son cahier de traces et sa grille d'évaluation.

Durée 20 minutes	Types de regroupement En équipe de deux
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Un cahier de traces par équipe. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter le problème : Comment construire la version miniature d'une pièce (salon) d'une maison en y intégrant des circuits électriques simples? • Présenter le cahier des charges : <ul style="list-style-type: none"> ○ Votre pièce doit comporter les composants électriques suivantes : minimum 2 interrupteurs, une source d'alimentation, 4 ampoules (3 de 2,5V et une de 6,3V), des fils électriques avec pinces alligators. ○ L'éclairage de votre pièce doit se comporter ainsi : une ampoule doit toujours être allumée, une autre ampoule doit éclairer faiblement, deux autres ampoules doivent éclairer fortement ○ Votre pièce peut être décorée et les fils doivent être dissimulés. • Présenter la grille d'évaluation en lien avec le cahier de charges et l'évaluation de Science et technologie du MELS. Présenter les sections du cahier de traces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprendre le problème. • Se mettre au courant. • Prendre compte des consignes et des documents.

Documents pour l'activité 3.4 : le cahier de traces (la première page est présentée) et la grille d'évaluation¹²

Noms : _____ Au-delà des murs : l'électricité




Au-delà des murs : l'électricité

Comment construire la version miniature d'une pièce d'une maison en y intégrant des circuits électriques simples?

Cahier des charges

- o Votre pièce doit comporter les composantes électriques suivantes : minimum 2 interrupteurs, une source d'alimentation, 4 ampoules (3 de 2,5V et une de 6,3 V), des fils électriques avec pincés alligateurs.
- o L'éclairage de votre pièce doit se comporter ainsi : une ampoule doit toujours être allumée, une autre ampoule doit éclairer faiblement, deux autres ampoules doivent éclairer fortement.
- o Votre pièce peut être décorée et les fils doivent être dissimulés.



Expliquez ou dessinez ce que vous devrez faire.

Cr 1 Description adéquate du problème	Reformulation du problème
---------------------------------------	---------------------------

Noms : _____

Synthèse des traces de l'évaluation

Critère d'évaluation ¹	Explication ²	Résultat
Cr1 Description adéquate du problème	Reformulation du problème Formulation d'une explication ou d'une solution provisoire Planification du travail	
C2 Mise en œuvre d'une démarche appropriée	Réalisation de la démarche Rajustement de la démarche, au besoin	
C3 Utilisation appropriée d'instruments, d'outils ou de techniques	Manipulation d'objets, d'outils ou d'instruments Respect de la sécurité	
Cr4 Utilisation appropriée des connaissances scientifiques et technologiques	Production d'explications ou de solutions Utilisation de la terminologie, des règles et des conventions	
Maîtrise des connaissances ciblées par la progression des apprentissages ³	L'univers matériel Stratégies ⁴	
Commentaires		

La légende des résultats :
A : Excellent, dépasse les attentes, B : Bien et complet, respecte les attentes, C : Incomplet, certains éléments manquent, D : Insatisfaisant, ne répond pas aux attentes.

¹ Selon le cadre de référence d'évaluation des apprentissages du MELS.

² <https://www7.mels.gouv.qc.ca/evaluation/index.php?page=science-et-technologie-pratiquer1>

³ Il est important de ne pas oublier d'inscrire les apprentissages liés aux techniques et instrumentales (section E) et au langage approprié (section F) de chaque univers.

⁴ Cet élément doit faire l'objet d'une rétroaction à l'élève, mais ne doit pas être considéré dans les résultats communiqués à l'intérieur des bulletins.

¹² Problème et cahier de traces adapté de *La maison électrique*, récupéré en 2012 de l'adresse suivante : <http://portail.csdm.qc.ca/Secure/Assembleur/NewAssembleur.aspx?IdPage=290109>

QUATRIÈME DEMI-JOURNÉE

BUT : Faire vivre aux enseignants un projet en électricité et consolider les apprentissages sur les pratiques d'enseignement et les concepts en électricité.

ORDRE DU JOUR	
4.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour	10 minutes
4.2 Production d'une carte conceptuelle sur les notions en électricité	25 minutes
4.3 Réalisation d'un projet en électricité en respectant quelques contraintes - suite	80 minutes
PAUSE	15 minutes
4.4 Synthèse des pratiques favorisant le CC, des conceptions et lexique	30 minutes
4.5 La planification d'une séquence d'enseignement en électricité - début	20 minutes
TOTAL	180 minutes

4.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour

Intention de la formatrice : Accueillir les enseignants et leur présenter l'ordre du jour de la rencontre pour les éclairer quant au programme de la demi-journée.

Durée 10 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Ordre du jour au tableau ou sur une feuille. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Accueillir les participants. • Présenter l'ordre du jour : <ul style="list-style-type: none"> ○ Production d'une carte conceptuelle sur les notions en électricité ○ Réalisation d'un projet en électricité en respectant quelques contraintes (suite) ○ Pause ○ Synthèse des pratiques favorisant le CC, des conceptions et présentation d'un lexique ○ La planification d'une séquence d'enseignement en électricité (début) 	<ul style="list-style-type: none"> • Arriver et s'installer. • Écouter et s'informer.

4.2 Production d'une carte conceptuelle sur les notions en électricité

Intention de la formatrice : Consolider les liens entre les concepts en électricité vus dans la formation.

Durée 25 minutes	Types de regroupement En équipe et en grand groupe
Matériel • Feuille	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Elaboration d'un réseau	<ul style="list-style-type: none"> • Dire aux enseignants d'écrire sur des petits carrés de feuille tous les mots, expressions ou notions reliés à l'électricité dont il a été question dans la formation. Les inviter à les placer dans un réseau selon des liens logiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer le réseau, le copier et inscrire les liens logiques.
Présentation	<ul style="list-style-type: none"> • Si les réseaux ne semblent pas tous pareils, demander à chaque équipe de présenter son réseau et aux autres équipes de commenter. 	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter son réseau de concepts et commenter celui des autres.
Discussion	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants de cibler quelles sont les confusions possibles entre courant et tension ainsi que leurs liens, puis faire un retour sur ces notions à partir de leurs réponses. • Indiquer que la carte conceptuelle est un excellent moyen d'amener les élèves à structurer les contenus appris. Dire que ce genre d'activité permet d'aller au-delà de la description de circuits, donc de conceptualiser, de passer du concret à l'abstrait. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réfléchir aux différences et liens entre le courant et la tension, puis participer à la discussion. • Écouter.

4.3 Réalisation d'un projet en électricité en respectant quelques contraintes - suite

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants de vivre un exemple d'activité d'intégration des concepts vus en électricité. Faire le lien avec l'idée qu'il vaut mieux enseigner une sélection de concepts scientifiques reliés entre eux que plusieurs concepts épars, et qu'il importe de réutiliser les concepts appris précédemment dans de nouvelles activités. Faire le lien avec l'idée que le CC prend du temps, d'où l'idée d'enseigner moins de concepts, mais plus en profondeur et en les revoyant souvent.

Durée 80 minutes	Types de regroupement En équipe de deux
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Pour chaque équipe, une douzaine de fils à pinces alligators, 3 ampoules de 2,5V et une de 6,3V, une résistance, 3-4 interrupteurs, 2 piles AA, du carton, des ciseaux, des marqueurs et un cahier de traces. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé	<ul style="list-style-type: none"> Rappeler le problème, le cahier de charges et ce qu'ils ont à accomplir : faire un plan de leur projet, faire une liste du matériel nécessaire au projet, et faire une prédiction du comportement de leur circuit (intensité des ampoules, effet de l'interrupteur sur les composantes électriques, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> Respecter les contraintes, dessiner un plan, prévoir le matériel, prévoir ce qui se passera dans le circuit.
Coopération / rétroaction	<ul style="list-style-type: none"> Demander aux équipes de s'intervaliser leur plan avant de commencer la réalisation. 	<ul style="list-style-type: none"> Faire valider son plan par une autre équipe et valider le plan d'une autre équipe.
Projet	<ul style="list-style-type: none"> Donner du temps pour la réalisation. 	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser le projet.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Présentations	<ul style="list-style-type: none"> • Demander à chaque équipe de présenter son projet ainsi que son fonctionnement électrique (luminosité, intensité du courant, piles, interrupteurs, etc.). • Demander aux enseignants de nommer les concepts scientifiques utilisés dans ce projet. Expliquer ensuite qu'il importe de réutiliser les concepts vus et de structurer les connaissances en fin d'activité (comme lors de la présentation du projet, par exemple). Souligner l'importance de considérer le circuit comme un tout pour comprendre et prédire l'intensité des ampoules dans un circuit. Faire le lien avec l'idée que le CC exige du temps. 	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter son projet. • Participer à la discussion et écouter les propos de la formatrice.

Pause de 15 minutes

4.4 Synthèse des pratiques favorisant le CC, des conceptions et lexique

Intention de la formatrice : Souligner les indications pratiques qui favorisent le CC (les pratiques avec lesquelles ils se familiarisent depuis le début de la formation). Faire comprendre l'intention de favoriser le CC avec toutes les pratiques d'enseignement vues (il ne s'agit pas d'une recette).

Durée 30 minutes	Types de regroupement En grand groupe et individuel
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Feuilles blanches, un lexique par enseignant. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé des consignes	<ul style="list-style-type: none"> • Remémorer aux enseignants les activités réalisées en électricité : le court-circuit avec le nichrome, les défis électriques, les vrais ou faux, les comparaisons et le projet. Leur demander de lister les pratiques (des pratiques qui favorisent le CC) que la formatrice a employées quant à sa planification, quant à la logistique, ainsi que quant à ses actions avant, pendant et après le déroulement des activités. Indiquer aux enseignants qu'ils doivent ensuite tenter de faire des liens entre ces pratiques et les placer sous la forme d'une carte conceptuelle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Repenser à la formation, noter les pratiques observées chez la formatrice et les placer en réseau dans une carte conceptuelle.
Réalisation de la carte conceptuelle	<ul style="list-style-type: none"> • Circuler entre les équipes, donner des idées, si nécessaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réaliser la carte conceptuelle.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Structuration	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux enseignants de nommer les pratiques repérées et faire une synthèse de l'ensemble des indications pratiques d'enseignement qui favorisent le CC. • Compléter les indications pratiques, s'il y a lieu. Donner rapidement un portrait des recherches sur le CC. Souligner les emplois différents de la discussion selon le moment où elle est tenue (logique divergente au début, pour connaître les conceptions des élèves ou logique convergente quand la conceptualisation est visée, à la fin; discussion concrète et descriptive à propos de circuits réalisés ou discussion abstraite pour aborder les concepts et leurs relations). Mettre l'accent sur l'importance de faire résoudre des problèmes, de faire expérimenter les élèves et de revenir sur les concepts, pour la structuration des connaissances des élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se faire une synthèse, une liste, des pratiques d'enseignement. • Écouter et participer, si nécessaire.

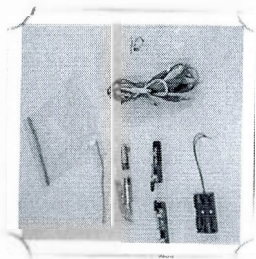
Document présenté aux enseignants lors de l'activité 4.4, réalisé en collaboration avec une conseillère pédagogique d'une des commissions scolaires participantes (gardée anonyme dans le cadre de la recherche)

LEXIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

3^e cycle du primaire

Le lexique de la progression de apprentissages du MELS

- Ampoule
- Circuit électrique
- Conducteur électrique et isolant électrique
- Énergie électrique
- Énergie lumineuse
- Fil
- Interrupteur
- Réaction chimique dans une pile
- Source (pile)
- Source d'énergie



Lexique complémentaire

- Ampoule à incandescence
 - Culot
 - Plot
 - Filament (de tungstène)
 - Socle
- Circuit fermé
- Circuit ouvert
- Court-circuit
- Electron
- Embranchement
- Fil à pince alligator
- Intensité lumineuse, émission de lumière
- Moteur
 - Porte-pile, pile AA, pile D, pile 9v
 - Positif, négatif, pôle électrique
 - Sonnerie
 - Résistance
 - Tension
- « Le courant s'établit » (pour remplacer « le courant passe » qui induit une conception erronée)

Symboles associés aux pièces électriques
(Section E « Techniques et instrumentation » de la progression du MELS)

Pile	Piles (2) - Batterie	Ampoule
Interrupteur		Résistance
Sonnerie	Moteur	

4.5 La planification d'une séquence d'enseignement en électricité - début

Intention de la formatrice : Application pratique du contenu vu lors des rencontres de formation précédentes (concepts en électricité et pratiques d'enseignement qui favorisent le CC).

Durée 20 minutes	Types de regroupement Travail individuel ou en équipe de deux
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Pour chaque enseignant, un canevas de planification dans un fichier Word, un ordinateur portable et leurs notes prises pendant la formation. Pour l'ensemble du groupe, des livres (de Marcel Thouin), des manuels scolaires, des piles, des ampoules et des fils avec pinces alligators. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé	<ul style="list-style-type: none"> Présentation d'un canevas de planification sur support informatique. Présentation d'une grille-outil pour structurer la séquence. Rappeler que pour l'évaluation de leurs élèves (optionnel), ils peuvent se référer à la grille utilisée pour l'évaluation de leur propre projet (rencontre 4). Présentation des contraintes et exigences de leur planification, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> Viser une conception fréquente parmi celles vues pendant la formation. Indiquer l'intention, l'objectif d'apprentissage pour chaque activité. Écrire le problème, les questions à poser pendant la discussion. Noter quelle pratique d'enseignement est associée à différents moments du déroulement. Élaborer une séquence de 3 ou 4 activités. Indiquer le matériel, le temps et les regroupements prévus. Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Écouter.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Accompagnement et rétroaction	<ul style="list-style-type: none"> • Indiquer aux enseignants que la formatrice fera des points de contrôle pour suivre leur cheminement et les accompagner. Premier point de contrôle : avoir un plan général de la séquence (titres et buts des activités, activité au cœur de la séquence, concepts visés en électricité, conceptions en jeu,...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter à la formatrice son plan général de la séquence pour avoir une rétroaction (ils choisissent un/quelques concepts, planifient une série d'activités (séquence d'enseignement)).
Planification	<ul style="list-style-type: none"> • Accorder du temps pour terminer la planification et leur dire que la prochaine rencontre sera essentiellement consacrée à la planification. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planifier la séquence d'enseignement en électricité : le matériel, le temps, les questions et discussions, le problème à résoudre, etc.

Documents pour l'activité 4.5 : extrait du canevas de planification troué

Planification d'une séquence d'enseignement en électricité

Problème central :

Vue globale de la séquence :

	Titre	Contenu	Durée
Activité 1			
Activité 2			
Activité 3			
Activité 4			

Activité 1 – Titre:

Votre but d'enseignement :	
Conception initiale fréquente en jeu (si applicable) :	
Notion visée en électricité :	

Durée __ minutes	Sécurité •
Matériel • • • • •	Types de regroupement En grand groupe __ Individuel __ En équipe __

[illegible]

CINQUIÈME DEMI-JOURNÉE

BUT : Allouer du temps aux enseignants pour la planification d'une séquence d'enseignement en électricité qui favorise le CC et les accompagner dans cette planification.

ORDRE DU JOUR	
5.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour	10 minutes
5.2 Planification (suite) (pause incluse)	150 minutes
5.3 Conclusion de la demi-journée	20 minutes
TOTAL	180 minutes

5.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour

Intention de la formatrice : Accueillir les enseignants et leur présenter l'ordre du jour de la rencontre pour les éclairer quant au programme de la demi-journée.

Durée 10 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Ordre du jour au tableau ou sur une feuille. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Accueillir les participants. • Présenter l'ordre du jour : <ul style="list-style-type: none"> ○ Planification (suite) – pause incluse ○ Conclusion de la demi-journée 	<ul style="list-style-type: none"> • Arriver et s'installer. • Écouter et s'informer.

5.2 Planification (suite)

Intention de la formatrice : Évaluer comment les enseignants s'approprient le contenu de la formation. Les accompagner pendant les moments de contrôle pour faire en sorte qu'ils soient le mieux préparés possible pour l'enseignement de la séquence dans leur salle de classe.

Durée 150 minutes	Types de regroupement Individuel ou en équipe de deux
Matériel Pour chaque enseignant, un canevas de planification dans un fichier Word, un ordinateur portable et leurs notes prises pendant la formation. Pour l'ensemble du groupe, des livres (de Marcel Thouin), des manuels scolaires, des piles, des ampoules et des fils avec pinces alligators.	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé	<ul style="list-style-type: none"> • Rappeler les éléments essentiels qui doivent se retrouver dans la planification. <ul style="list-style-type: none"> ○ Titre des activités ○ Buts / objectifs d'apprentissage / conceptions visées ○ Temps prévu ○ Rôle de l'enseignant ○ Rôle de l'élève 	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter, se replonger dans l'idée de la planification.
Planification	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre un ordre de rendez-vous pour les moments de contrôle : montrer le plan global de la séquence, montrer la question principale ou le projet principal, montrer les activités antérieures à la résolution de problème. • Accorder beaucoup de temps à la planification. Circuler entre les équipes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre un rendez-vous et avancer la planification de façon à avoir quelque chose à montrer lors du rendez-vous. • Planifier en détail sa séquence d'enseignement en tenant compte des pratiques d'enseignement qui favorisent le CC en électricité.

5.3 Conclusion de la demi-journée

Intention de la formatrice: Donner la mission pour le prochain mois : essayer leur séquence avec leurs élèves. Expliquer le travail à faire avant la 6^e rencontre (préparation du colloque : une présentation du déroulement dans leur groupe, de productions d'élèves, l'analyse du déroulement par rapport au CC et propositions d'améliorations possibles).

Durée 20 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> Agendas (des enseignants) et feuilles aide-mémoire pour les enseignants. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé	<ul style="list-style-type: none"> Les inviter à ouvrir leur agenda pour des notes. Expliquer qu'ils ont environ quatre semaines pour trouver un moment pour enseigner leur séquence à leurs élèves. Leur dire que la formatrice souhaite les accompagner en classe pour les aider, pour voir comment ça se passe et pour les filmer, s'ils acceptent et si les parents consentent également. Indiquer que cette visite n'est pas évaluative, mais constructive. Préciser que lors de la séance d'observation, la formatrice est disponible pour aider en classe et pour discuter de la séance avec l'enseignant ensuite. Leur dire qu'aucun stress ne devrait être vécu, que la formatrice est ouverte et qu'elle ne les visite pas pour les juger (que c'est plutôt elle-même et sa formation qu'elle évalue dans le processus). Enfin, leur donner le devoir de préparer une présentation d'environ 15 minutes pour la dernière rencontre : pour raconter comment leur séquence a été vécue, pour partager des réalisations d'élèves et pour expliquer comment ils ont évalué leurs élèves. Prendre rendez-vous avec les enseignants qui savent déjà quand ils planifient faire vivre la séquence d'enseignement à leurs élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> Écouter, se replonger dans l'idée de la planification. Prendre note des consignes. Écouter les propos rassurants de la formatrice. Écouter les consignes. Prendre un rendez-vous avec la formatrice.

Document de l'activité 5.3 : Aide-mémoire pour la préparation du colloque

6^e DEMI-JOURNÉE DE FORMATION

COLLOQUE

Vous disposerez chacun de 10 à 15 minutes pour nous partager le déroulement de votre séquence d'enseignement sur l'électricité.

Comme aide-mémoire, voici les aspects à aborder pendant votre présentation :

- ✎ Résumez les activités de votre séquence (un rappel de votre planification) ;
- ✎ Racontez comment vous avez vécu les activités avec vos élèves (en particulier celles qui visaient un changement conceptuel en électricité) ;
- ✎ Présentez des exemples de réalisation d'élèves (documents, montages, photos, etc.) ;
- ✎ Faites-nous part des conceptions fréquentes que vos élèves avaient ;
- ✎ Partagez les stratégies que vous avez employées pour favoriser un changement conception chez vos élèves ;
- ✎ Racontez ce qui a bien été ;
- ✎ Racontez les moments plus difficiles et déstabilisants ;
- ✎ Dites-nous comment vous enseigneriez cette séquence la prochaine fois (quels changements apporteriez-vous ?)

SIXIÈME DEMI-JOURNÉE

BUT : Animer un colloque afin que les enseignants puissent partager le récit du déroulement de l'enseignement de leur séquence d'enseignement ainsi que leurs commentaires et réflexions par rapport à la formation.

ORDRE DU JOUR	
6.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour	10 minutes
6.2 Colloque (pause incluse)	100-130 minutes
6.3 Entretien de groupe	30 minutes
6.4 Synthèse globale de la formation	20 minutes
TOTAL	160-190 minutes

6.1 Accueil et présentation de l'ordre du jour

Intention de la formatrice : Accueillir les enseignants et leur présenter l'ordre du jour de la rencontre pour les éclairer quant au programme de la demi-journée.

Durée 10 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel <ul style="list-style-type: none"> • Ordre du jour au tableau ou sur une feuille. 	Sécurité <ul style="list-style-type: none"> • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Exposé magistral	<ul style="list-style-type: none"> • Accueillir les participants, prendre des nouvelles rapidement. • Présenter l'ordre du jour : <ul style="list-style-type: none"> ○ Colloque (pause incluse) ○ Discussion sur la formation (entretien de groupe) ○ Synthèse globale de la formation 	<ul style="list-style-type: none"> • Arriver, s'installer. • Écouter.

6.2 Colloque

Intention de la formatrice : Permettre aux enseignants d'échanger sur l'enseignement de leur séquence en électricité.

Durée 10 à 15 minutes par présentation – 100 à 130 minutes en tout	Types de regroupement En grand groupe
Matériel • Les enseignants apportent le matériel dont ils ont besoin pour leur présentation.	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Colloque / Comptes rendus	<ul style="list-style-type: none"> • Écouter les présentations. • Poser des questions à la fin de chacune des présentations (si l'information n'a pas déjà été mentionnée). <ul style="list-style-type: none"> ○ Quelles conceptions les élèves avaient-ils au départ ? ○ Les conceptions des élèves étaient-elles plus scientifiques à la fin de la séquence ? ○ Quels éléments pourraient être améliorés si la séquence était à refaire ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Raconter le déroulement de sa séquence d'enseignement avec ses élèves. • Présenter des réalisations d'élèves et leur évaluation (montage, projet, cahier de traces, etc.) • Analyser sa pratique par rapport au CC. • Répondre aux questions.

6.3 Entretien de groupe, discussion

Intention de la formatrice : Avoir l'avis des enseignants par rapport au contenu de la formation (concepts en électricité, CC), quant à sa structure, au rythme des activités et aux exigences auxquelles ils ont dû répondre dans le but de recueillir des données.

Durée 30 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel • Pas de matériel.	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Questionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Poser des questions sur les apprentissages réalisés et demander des commentaires par rapport à la formation (rythme, sélection des concepts, temps de pratique, expérimentations, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la discussion.

6.4 Synthèse globale

Intention de la formatrice : Institutionnaliser les savoirs quant aux pratiques qui favorisent le CC et par rapport aux concepts en électricité en particulier. Ouvrir les pratiques d'enseignement pour le CC vers d'autres phénomènes.

Durée 20 minutes	Types de regroupement En grand groupe
Matériel • Tableau ou grandes feuilles	Sécurité • Pas de précaution spéciale à prendre.

	Rôle de la formatrice	Rôle des enseignants
Discussion avec notes au tableau	<ul style="list-style-type: none"> • Poser différentes questions et demander aux enseignants de venir inscrire leurs réponses au tableau. <ul style="list-style-type: none"> ○ Rappelez-vous les premiers montages que vous avez faits, pour faire allumer une seule ampoule avec seulement un fil et une pile... Quelle conception est en jeu dans cette activité ? En quoi cette activité peut favoriser le CC ? ○ Quels moyens pouvez-vous utiliser avec vos élèves pour qu'ils explicitent leurs conceptions ou se rendent compte de leurs limites ? ○ Comment faire en sorte que l'emploi de matériel ou que des manipulations favorisent le CC ? ○ Quels concepts en électricité avons-nous abordés ? Quels sont les liens entre ces concepts ? Comment les revoir dans différentes activités ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la discussion et possiblement prendre des notes.
	<ul style="list-style-type: none"> • Si le temps le permet, demander aux enseignants comment ouvrir les pratiques d'enseignement qui favorisent le CC à d'autres phénomènes ; comment transférer ce qu'ils ont vu pendant la formation à d'autres phénomènes scientifiques ? Par exemple, pour enseigner la flottabilité, les saisons, le pendule, les besoins d'une plante, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la discussion et donner des exemples d'activités qu'ils connaissent en mentionnant comment ils intégreraient les pratiques favorisant le CC.

RÉFÉRENCES DE LA PLANIFICATION DE LA FORMATION

Dupin, J. J. et Johsua, S. (1989). Analogies and «modeling analogies» in teaching: some example in basic electricity. *Science Education*, 73(2), 207-224.

Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. et Fournier, F. (2010). Problem-centered learning vs. teaching-centered learning in science at the secondary level: An analysis of the dynamics of doubt. *Journal of Applied Research on Learning*, 3, Article 5, 1-24.

Summers, M., Kruger, C. et Mant, J. (1998). Teaching electricity effectively in the primary school: a case study. *International journal of science education*, 20(2), 153-172.

Site internet consulté en 2012 :

<http://portail.csdm.qc.ca/Secure/Assembleur/NewAssembleur.aspx?Id Page=290109>

APPENDICE B

DOCUMENTS ENVOYÉS AUX EXPERTS POUR LA MISE À L'ESSAI FONCTIONNELLE

1. La lettre

Montréal, 16 septembre 2011

XX, professeur
Département de didactique, Université de XX
Ville, QC

Objet : Validation du projet de recherche développement sur l'enseignement de l'électricité et sur le changement conceptuel

Bonjour,

Je te remercie d'avoir consenti à participer à la validation la planification de mon projet de recherche-formation sur l'enseignement de l'électricité et sur le changement conceptuel. Le regard que tu porteras sur la planification de la formation à partir de ta grande expérience en didactique m'aidera à l'améliorer judicieusement. Cette validation me permettra d'apporter les dernières modifications avant le début de la formation des enseignants.

Cet envoi comprend :

- la planification (en blanc) ;
- la fiche de validation (en vert) ;
- une annexe 1 sur les éléments théoriques qui ont été considérés pour développer ce projet de recherche formation (en jaune) ;
- une annexe 2 sur les objectifs poursuivis pour le volet formation (en rose).

Voici les consignes pour effectuer cette validation:

- Prendre connaissance des questions de la fiche de validation ;
- Faire une lecture de la planification ;
- Répondre aux questions de la fiche de validation (évaluer seulement la planification, sur papier blanc) ;
- Annoter la planification est facultatif, mais toutes les annotations seront lues et considérées.

Les documents sur les éléments théoriques (en jaune) et sur les objectifs poursuivis (en rose) contiennent des informations à consulter pour répondre aux questions 1 et 2. Je lirai avec attention tous les commentaires reçus et la planification sera amendée en fonction de l'ensemble des fiches que je recevrai des évaluateurs.

Pour me donner le temps de faire la synthèse des fiches reçues et d'apporter les modifications nécessaires, j'aurai besoin que tu me redonnes la planification (en blanc) ainsi que la fiche (en vert) pour le **mercredi 28 septembre**. Tu peux la déposer dans mon casier. N'hésite pas à communiquer avec moi par courriel marie-noel.bety@umontreal.ca ou par téléphone au 514-xxx-xxxx si tu as des questions.

Ta collaboration est appréciée, merci à l'avance! Marie-Noël Bêty

2. La fiche de validation

FICHE DE VALIDATION DE LA PLANIFICATION DE LA FORMATION SUR L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ

Évaluateur : _____

Consignes : À la suite de la lecture de la planification, veuillez répondre aux 6 questions suivantes. Si vous manquez d'espace pour répondre, vous pouvez continuer à rédiger votre réponse sur une feuille supplémentaire en indiquant le numéro de la question.

1- Trouvez-vous que la planification de la formation découle bien des trois grandes notions du cadre théorique (*ces notions sont détaillées dans l'annexe 1, en jaune*) ?

- des paramètres d'une formation efficace;
- des pratiques d'enseignement qui favorisent le changement conceptuel;
- des conceptions fréquentes en électricité.

OUI _____ NON _____

Si vous avez répondu non, quelles absences constatez-vous?

2- Compte tenu des objectifs généraux poursuivis lors de la formation, soit

- Les enseignants comprendront les circuits électriques simples selon un modèle scientifique;
- Les enseignants se familiariseront avec les pratiques qui favorisent le changement conceptuel chez les élèves lors de l'apprentissage de l'électricité

Y aurait-il des activités à ajouter ou à retrancher afin de rencontrer ces objectifs (*les objectifs détaillés se trouvent dans l'annexe 2, en rose*)?

OUI _____ NON _____

Si oui, quelles suggestions de retrait ou d'ajout proposez-vous?

3- Que pensez-vous de la faisabilité de cette formation (niveau de difficulté, activités prévues, temps prévu, etc.)?

4- Y a-t-il des contradictions dans cette formation?

OUI _____ NON _____

Si oui, lesquelles?

5- Y a-t-il des obstacles au bon déroulement de cette formation?

OUI _____ NON _____

Si oui, lesquels?

6- Si vous avez des commentaires généraux, nous vous remercions de bien vouloir les inscrire ici.

3. Les annexes auxquelles les évaluateurs pouvaient se référer :

ANNEXE 1 destinée aux experts - Synthèse des éléments du cadre théorique qui ont guidé la planification de la formation.

Les éléments du théorique qui ont guidé la planification de la formation se trouvent dans le tableau 1. Les trois grandes notions sont : les paramètres d'une formation efficace, les pratiques d'enseignement qui favorisent le changement conceptuel chez les élèves et les conceptions fréquentes en électricité à faire évoluer vers des conceptions scientifiques.

Tableau 1 : Les éléments du cadre théorique qui ont guidé la planification de la formation

Paramètres d'une formation efficace	Pratiques d'enseignement favorisant le changement conceptuel	Conceptions initiales fréquentes en électricité
Aborder un contenu, en précisant la théorie qui le sous-tend	Amener les élèves à résoudre un problème	Modèle de l'unipôle
Permettre aux enseignants de pratiquer, d'être actifs dans les apprentissages réalisés lors de la formation	Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel	Modèle de la règle empirique
Favoriser un encadrement, la collaboration et la rétroaction avec les pairs	Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes	Modèle du courant qui faiblit, qui est consommé
Être cohérent pendant la formation, entre le message et les moyens employés, donc faire des démonstrations et de modéliser les habiletés visées	Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions	Modèle du courant qui se rencontre
	Être attentif à l'épistémologie des sciences qui se dégage de son enseignement	Modèle de raisonnement séquentiel et local
	Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant)	Modèle de la conception du court-circuit
	Employer du matériel, inviter les élèves à manipuler	Modèle de la pile comme une source de courant constante
	Considérer que le changement conceptuel demande du temps	Confusion de la relation entre le courant et la différence de potentiel
		Confusion de la relation entre le courant et la résistance

Les paramètres d'une formation efficace proviennent de la synthèse des études de Joyce et Showers (2002) et de Blank et de las Alas (2010). Les pratiques d'enseignement qui favorisent le changement conceptuel sont les résultats de la synthèse de Bêty (2009). Les conceptions initiales fréquentes par rapport aux concepts en électricité proviennent de

différentes études. Comme parfois leur appellation n'a pas toujours un sens évident, vous trouverez ci-dessous une explication de chaque conception. Ces conceptions fréquentes ont été notées par de nombreux chercheurs, dont Sencar et Eryilmaz (2004).

- a) *Modèle de l'unipôle* : Selon ce modèle, dans un circuit simple, un seul fil de la pile à l'appareil électrique suffit pour le faire fonctionner et l'alimenter et s'il y a un autre fil, il est en extra et ne sert à rien ou est là par sécurité. Selon la recherche de Cepni et Keles (2006), il appert que des élèves connectent deux ampoules sur un seul et même côté de la pile ; ils ne connaissent pas le sens du courant.
- b) *Modèle de la règle empirique* (Heller & Finley, 1992) : Dans la recherche de Cepni et Keles (2006) les élèves de cinquième année qui ont le modèle de l'unipôle (a) vont également penser que la distance entre la pile et l'ampoule, soit la longueur du fil, a une influence sur la force avec laquelle l'ampoule sera allumée.
- c) *Modèle du courant qui faiblit, qui est consommé* : Selon ce modèle, le courant circule dans un sens dans le circuit, mais il faiblit graduellement parce que chaque appareil électrique du circuit consomme et utilise une partie du courant. Le courant qui revient à la source d'alimentation est donc plus faible. Dans l'étude de cas présentée dans l'article de Summers et al. (1998), la conception initiale d'une des enseignantes correspondait à ce modèle. Cela illustre le fait que les enseignants ont parfois des conceptions initiales qui ne sont pas justes.
- d) *Modèle du courant qui se rencontre* : Selon ce modèle, dans un circuit simple, l'électricité positive se déplace à partir de la borne positive et l'électricité négative se déplace à partir de la borne négative de la source d'alimentation et les électricités positive et négatives se rencontrent à l'appareil électrique pour l'alimenter et le faire fonctionner.
- e) *Modèle de raisonnement séquentiel et local* : Il s'agit de la conception selon laquelle les élèves pensent qu'un changement dans un circuit a seulement un effet local plutôt qu'un effet sur l'ensemble du circuit.
- f) *Modèle de la conception du court-circuit* : Les élèves pensent qu'un fil connecté au circuit sans dispositif électrique ne sert à rien, n'est pas pertinent et qu'il peut donc être ignoré.
- g) *Modèle de la pile comme une source de courant constante* : Les élèves pensent que la pile relâche le même niveau de courant fixe dans n'importe quel circuit, peu importe l'arrangement du circuit Engelhardt et Beichner (2004).
- h) *Confusion à propos de la relation entre le courant et la différence de potentiel* : Les élèves interprètent souvent la différence de potentiel comme un attribut ou une propriété du courant et ont de la difficulté à appliquer la relation entre le courant et la différence de potentiel (Afra, Osta, & Zoubair, 2009; Clement & Steinberg, 2002).
- i) *Confusion à propos de la relation entre le courant et la résistance* : Dans ce cas, la résistance est perçue comme une cause du courant, ou comme le lieu de dissipation du courant.

ANNEXE 2 destinées aux experts – Objectifs poursuivis lors de la formation.

Les objectifs généraux sont en gras.

a. Les enseignants comprendront les circuits électriques simples selon un modèle scientifique :

- ix. Ils comprendront qu'un circuit simple en courant continu doit être fermé et qu'on l'analyse comme un tout.
- x. Ils comprendront que le courant ne diminue pas en parcourant un circuit.
- xi. Ils comprendront que le courant correspond à des électrons qui circulent dans un sens.
- xii. Ils comprendront qu'une ampoule située loin ou près de la pile aura la même intensité.
- xiii. Ils comprendront la notion de court-circuit.
- xiv. Ils apprendront qu'il y a deux façons de brancher les composantes d'un circuit : en série et en parallèle.
- xv. Ils distingueront les notions de tension, de courant et de résistance :
 - III. que le courant est influencé par la tension et la résistance dans le circuit.
 - IV. que les électrons bougent dans le circuit à cause de la pile.
- xvi. Ils apprendront à représenter et reconnaître des schémas de circuits.

b. Les enseignants se familiariseront avec les pratiques qui favorisent le changement conceptuel chez les élèves en l'électricité :

- viii. Ils comprendront la notion du changement conceptuel.
- ix. Ils sauront planifier et enseigner en vue de favoriser le changement conceptuel chez leurs élèves en s'appropriant les indications pratiques suivantes :
 - I. Amener les élèves à résoudre un problème
 - II. Enseigner une sélection de concepts par champ conceptuel
 - III. Revenir sur les concepts scientifiques, les réutiliser dans différents contextes
 - IV. Permettre aux élèves d'exprimer leurs conceptions
 - V. Être attentif à l'épistémologie des sciences qui se dégage de son enseignement
 - VI. Encourager les discussions (entre pairs, avec l'enseignant)
 - VII. Employer du matériel, inviter les élèves à manipuler
 - VIII. Considérer que le changement conceptuel demande du temps

APPENDICE C

DÉONTOLOGIE

**L'INFORMATION ENVOYÉE AUX DIRECTIONS D'ÉCOLE,
LES FORMULAIRES DE CONSENTEMENT (UN POUR LES
ENSEIGNANTS ET UN POUR LES PARENTS DES ÉLÈVES), LE
FORMULAIRE DE CONFIDENTIALITÉ DES
TRANSCRIPTEURS ET LE CERTIFICAT D'ÉTHIQUE**

1- Lettre envoyée aux directions d'école des enseignants participant à la formation

Projet de recherche-formation sur l'électricité et le changement conceptuel

Dans le cadre de son doctorat en éducation, une étudiante développe présentement une formation en science et technologie pour les enseignants du troisième cycle du primaire. Lors de son expérimentation à l'automne 2011, elle offrira une formation d'une durée de 6 demi-journées à une dizaine d'enseignants qui devront être libérés pour l'occasion. Le but de sa recherche n'est pas d'évaluer les enseignants, mais bien de les former et de valider comment ils s'approprient les concepts en électricité au programme de la formation. C'est donc à la fois une offre, parce qu'elle propose ses services pour aider des enseignants à propos d'une problématique assez aigüe, et en même temps c'est une occasion pour elle puisqu'elle pourra obtenir ainsi des données de recherche.

Dans ce court document, vous trouvez de l'information sur :

- l'objectif de la recherche;
- la formation offerte;
- l'engagement direction souhaité;
- les retombées du projet.

L'objectif de la recherche :

La recherche consiste à établir un pont entre les recherches récentes qui portent sur l'apprentissage des élèves (sur le changement de leurs conceptions lors de l'apprentissage en science et technologie) et les enseignants. Pour ce faire, l'étudiante développe une formation en prenant appui sur les recherches et en tenant compte des difficultés et contraintes qu'ont les enseignants du primaire. Cette formation sera validée lors de l'expérimentation avec la dizaine d'enseignants participants.

À ce jour, voici en quoi consiste la formation offerte:

L'objectif de cette formation est de faire acquérir une expertise aux enseignants à propos du changement des conceptions des élèves lors de l'apprentissage en science et technologie. Cette formation donnée à l'automne 2011 durera 6 demi-journées plus ou moins rapprochées dans le temps pour :

- familiariser les enseignants du 3^e cycle avec les concepts en électricité ainsi qu'avec des activités d'enseignement sur ces concepts;
- former les enseignants à des pratiques et des activités d'enseignement qui favorisent le changement conceptuel chez les élèves;
- assurer un accompagnement et un suivi des enseignants;
- intégrer les apprentissages des enseignants en effectuant un retour sur les activités que les enseignants auront essayées avec leurs élèves ainsi qu'en demandant aux enseignants d'appliquer les notions apprises à un autre contenu scientifique ou technologique.

D'ici l'automne 2011, cette formation sera développée en détails et l'obtention du certificat d'éthique est prévue.

Il est à noter que la formation est tout à fait pertinente en regard du *Programme de formation de l'école québécoise*. En effet, la formation familiarisera les enseignants avec l'importance de la résolution de problèmes en sciences, donc la compétence 1 sera travaillée. De même, le contenu scientifique abordé pendant la formation fait partie des connaissances de la progression des apprentissages.

L'engagement demandé à la direction:

Il sera essentiel de permettre aux enseignants qui souhaitent participer d'être libérés pour 6 demi-journées. Pour constituer les données de la recherche, ces enseignants devront accepter, par exemple, de répondre à un ou des questionnaires, d'essayer des activités d'enseignement en classe, de donner de brèves entrevues ou de laisser une copie de certains de leurs travaux réalisés dans le cadre de la formation. Ces données resteront évidemment confidentielles.

Les retombées du projet :

-Pour les enseignants participants :

Ces enseignants gagneront à participer à cette formation pour se familiariser avec les méthodes pédagogiques du changement conceptuel, avec des concepts en électricité ainsi qu'avec la compétence disciplinaire 1 du programme. Ils s'approprieront des activités d'enseignement en sciences. Ils en repartiront avec des activités et possiblement du matériel.

- Pour les collègues de ces enseignants :

Ces enseignants pourront agir en tant que vecteur de connaissances en partageant avec leurs collègues les apprentissages qu'ils auront réalisés dans le cadre de la formation.

- Pour les élèves de ces enseignants :

Comme la formation est développée à partir de données de recherche concluantes sur l'apprentissage des sciences chez les élèves, les élèves qui bénéficieront de l'enseignement découlant de la formation auront une compréhension plus en profondeur des concepts en électricité.

- Pour les conseillers pédagogiques :

Les conseillers pédagogiques disciplinaires et des écoles seront bienvenus à la formation et pourront la réutiliser en tout ou en partie avec d'autres enseignants dans d'autres formations lorsque l'expérimentation sera complétée. De plus, une fois les données recueillies et analysées, l'étudiante pourra donner une formation à tous les conseillers pédagogiques de la commission scolaire pour diffuser les résultats et les éléments de la formation validée les plus concluants.

Pour toute question, n'hésitez pas à communiquer avec la formatrice qui pilote ce projet :

Marie-Noël Bêty

Courriel : bety.marie-noel@courrier.uqam.ca Cellulaire : 514-xxx-xxxx

2- Formulaire de consentement pour l'enseignant

Conception et mise à l'essai d'un dispositif de formation portant sur le changement conceptuel en électricité destiné aux enseignants du primaire

Je reconnais, suite à une discussion avec la responsable du projet, avoir été suffisamment informé des objectifs du projet de recherche portant sur la *conception et la mise à l'essai d'un dispositif de formation portant sur le changement conceptuel en électricité destiné aux enseignants du primaire* et des exigences reliées à sa réalisation. Je comprends que les buts de cette étude concernent l'amélioration et la validation du dispositif de formation en développement dans le cadre de la thèse de Marie-Noël Bêty.

Je reconnais également avoir été informé que:

- ma participation est volontaire et qu'il m'est possible de me retirer en tout temps sans aucun préjudice en contactant le responsable de l'étude;
- les mesures nécessaires seront prises pour que les résultats du projet soient traités de façon anonyme et à l'abri de toutes informations qui pourraient permettre d'identifier l'enseignant, l'école et la commission scolaire. À cet égard, seuls la doctorante et son comité de recherche auront accès aux données et le nom de l'enseignant et de l'institution seront remplacés par des pseudonymes de manière à protéger l'anonymat.

Dans ces conditions, j'accepte de participer à cette étude:

A) Nom de l'enseignant : _____

Signature de l'enseignant : _____

Nom de l'école : _____

Signé à _____ le _____

B) Nom du responsable du projet _____

Signature du responsable du projet _____

2- Formulaire de consentement des parents pour les élèves

Une recherche portant sur le développement d'une formation à propos de concepts en électricité et du changement conceptuel est présentement en cours avec l'enseignant de votre enfant. Cette recherche est sous la responsabilité de Marie-Noël Bêty, étudiante au doctorat en éducation à l'Université du Québec à Montréal.

La recherche porte sur les retombées de la formation pour les enseignants afin d'améliorer et de valider la formation. Les pratiques pédagogiques de l'enseignant seront observées au moyen d'enregistrement vidéo lors d'une séance d'enseignement portant sur l'électricité. L'enseignant sera filmé, mais il est possible que votre enfant soit dans le champ de la caméra. Par la présente, nous demandons votre accord pour que votre enfant soit filmé lors de l'enregistrement de cette séance. Nous précisons que les bandes vidéos seront utilisées que par la doctorante Marie-Noël Bêty pour fin d'analyse et qu'ensuite les données seront détruites.

Il est à noter que nos observations des pratiques pédagogiques réalisées en classe tiendront uniquement compte des comportements de l'enseignant. Ainsi, les comportements de votre enfant dans la séance filmée ne seront pas étudiés dans cette recherche. Pour de plus amples informations n'hésitez pas à communiquer avec Madame Marie-Noël Bêty au 514-xxx-xxxx poste xxxx.

Merci de votre collaboration et veuillez agréer mes sentiments les plus distingués.

Marie-Noël Bêty
 Étudiante au doctorat en éducation
 Université du Québec à Montréal
 Tél. bureau : 514.xxx.xxxx poste xxxx
 bety.marie-noel@courrier.uqam.ca

J'accepte que mon enfant participe à la séance d'enseignement en électricité qui sera filmée dans le cadre de cette recherche. Je comprends que ce sont les actions de l'enseignant qui sont observées et non les comportements de mon enfant.

Nom de l'enfant: _____ École: _____

Signature de l'un des parents: _____ Date: _____

3- Formulaire de confidentialité pour les transcripteurs

Une recherche portant sur le développement d'une formation à propos de concepts en électricité et du changement conceptuel est effectuée sous la responsabilité de Marie-Noël Bêty, étudiante au doctorat en éducation à l'Université du Québec à Montréal.

La recherche porte sur les retombées de la formation sur les enseignants afin d'améliorer et de valider la formation. Des entrevues ont été réalisées avec les enseignants, entrevues qui doivent demeurer confidentielles et anonymes.

Par la présente, nous vous demandons de respecter la confidentialité des données, des verbatim et des entrevues et de détruire toute donnée (audio ou écrite) lorsque la transcription est terminée (audio ou écrite).

Merci de votre collaboration et veuillez agréer mes sentiments les plus distingués.

Marie-Noël Bêty
Étudiante au doctorat en éducation
Université du Québec à Montréal
Tél. bureau : xxx-xxxx poste xxx
bety.marie-noel@courrier.uqam.ca

J'accepte de respecter la confidentialité des données du projet de recherche de Marie-Noël Bêty et m'engage à détruire toute donnée en lien avec ce projet de recherche un fois que les transcriptions sont terminées.

Nom du transcripteur: _____

Signature: _____ Date: _____

4- Certificat d'éthique

UQÀM Université du Québec à Montréal	
Doctorat en éducation	No. de certificat: 111018-01
Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche du doctorat en éducation de l'Université du Québec à Montréal a examiné le projet de recherche suivant:	
Responsable du projet: BÉTY Marie-Noël	
Titre du projet: Conception et mise à l'essai d'un dispositif de formation portant sur le changement conceptuel en électricité et adressé aux enseignants du primaire.	
<i>Ce protocole de recherche est jugé conforme aux pratiques habituelles et réponds aux normes établies par le cadre normatif pour l'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM (1999) et l'Énoncé de politique des trois Conseils: Éthique de la recherche avec des êtres humains (1998).</i>	
MEMBRES DU COMITÉ	
Membres (2011)	Département ou organisme externe
Gilles Raïche	Département d'éducation et pédagogie
Nicole Carignan	Département d'éducation et formation spécialisées
Monique Lebrun-Brossard	Département de didactique des langues
Hélène Poissant	Département d'éducation et pédagogie
Date de la réunion: 11 octobre 2011	
Date d'émission initiale du certificat: 18 octobre 2011	
Date de renouvellement du certificat:	
R-1:	R-2:
R-3:	R-4:
R-5:	
Remarques:	

APPENDICE D

QUESTIONNAIRE SUR LES CONCEPTS EN ÉLECTRICITÉ (PRÉFORMATION ET POSTFORMATION)

Questionnaire sur les conceptions en électricité dans des circuits simples en courant continu

Ce questionnaire reprend et traduit des items de questionnaires validés.

Directives : Ce questionnaire comprend 11 questions à choix de réponses et 4 questions ouvertes sur les circuits électriques. Ce questionnaire servira à l'évaluation de la formation.

Chaque question à choix de réponse a deux parties :

- Une partie avec des choix multiples de **réponses** et des **raisons** pour la réponse choisie ;
- Une partie sur le **niveau de confiance** au sujet de la réponse et de la raison choisies.

Veuillez répondre au meilleur de vos connaissances. Si vous n'êtes pas certain, essayez de deviner. Nous vous prions de ne laisser aucune question sans réponse. Je vous remercie à l'avance de remplir ce questionnaire individuellement et sans consulter de références.

Une fois une question répondue, tournez la page et ne revenez plus sur vos réponses précédentes.

Merci de votre collaboration !

Votre nom : _____ Date : _____

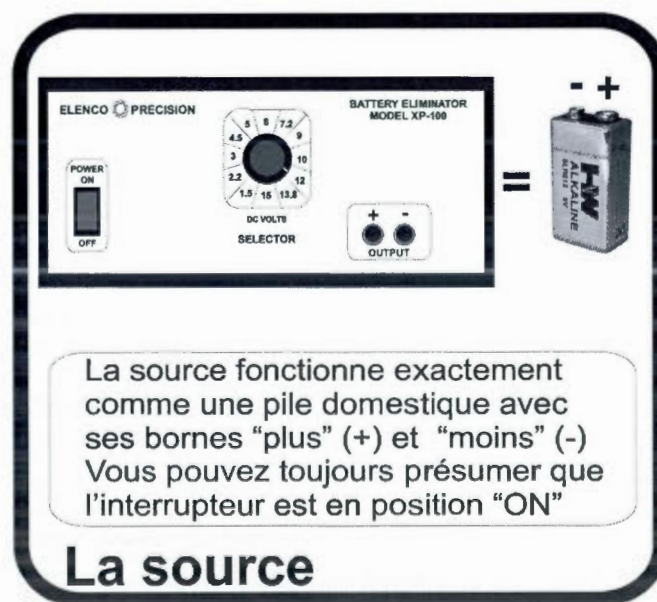
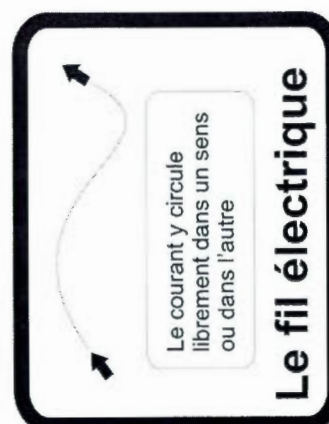
Temps mis pour remplir ce questionnaire : _____

Pour les cinq premières questions, référez-vous aux dessins et schémas comme suit :

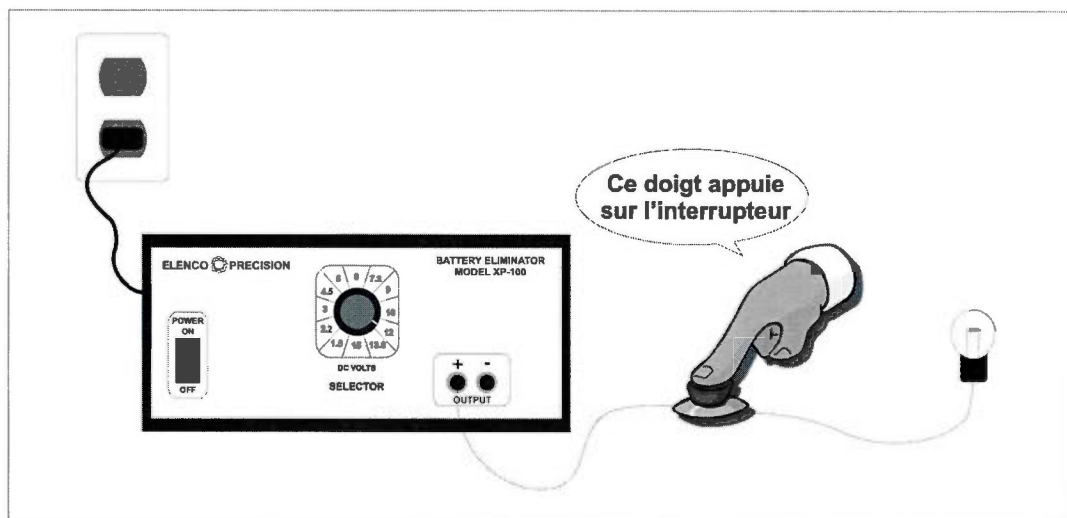


Feuille-référence

SVP ne pas écrire sur cette feuille



1. Si l'on appuie sur l'interrupteur, l'ampoule s'allumera-t-elle¹³ ?



- a) Oui
- b) Non

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

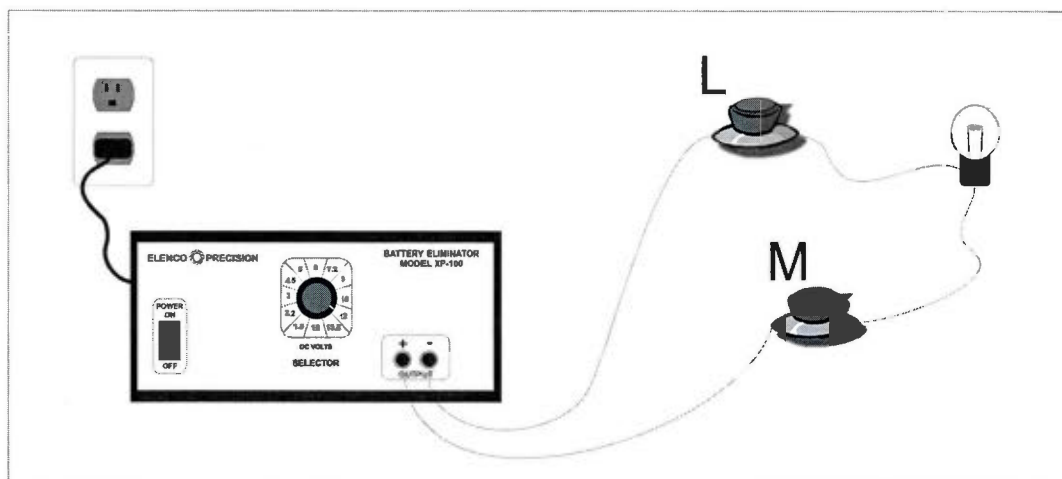
Raison :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

¹³ Question tirée de Potvin, Mercier, Charland et Riopel (2011)

2. Sur quel(s) interrupteur(s) faut-il appuyer pour faire allumer l'ampoule¹⁴ ?



- a) L'interrupteur L
- b) L'interrupteur M
- c) Sur n'importe lequel des deux interrupteurs
- d) Sur les deux interrupteurs en même temps

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut								Plus bas
niveau de	5	4	3	2	1	0	niveau de	
confiance							confiance	

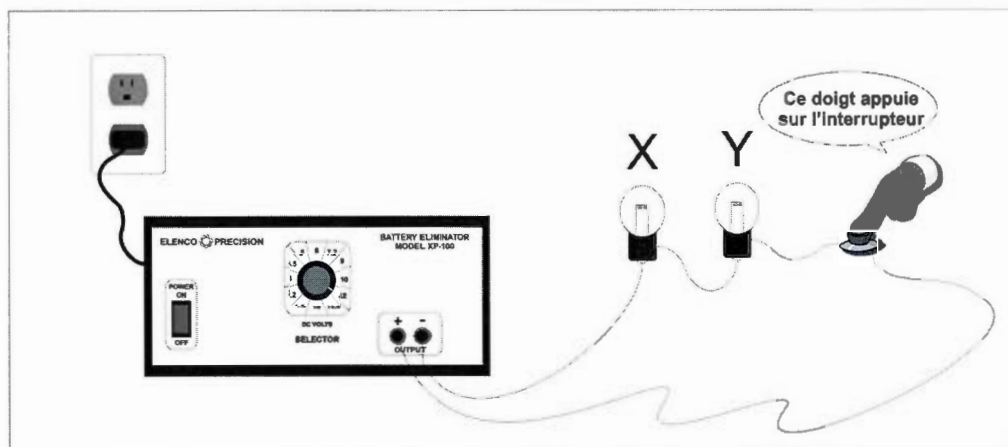
Raison :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut								Plus bas
niveau de	5	4	3	2	1	0	niveau de	
confiance							confiance	

¹⁴ Question tirée de Potvin et al. (2011)

3. Sachant que les ampoules X et Y sont tout à fait identiques, dites laquelle des deux est celle qui allumera le plus fort¹⁵.



- a) L'ampoule X
- b) L'ampoule Y
- c) Une des deux, mais je ne sais pas laquelle
- d) Les deux ampoules allumeront aussi fort l'une que l'autre

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

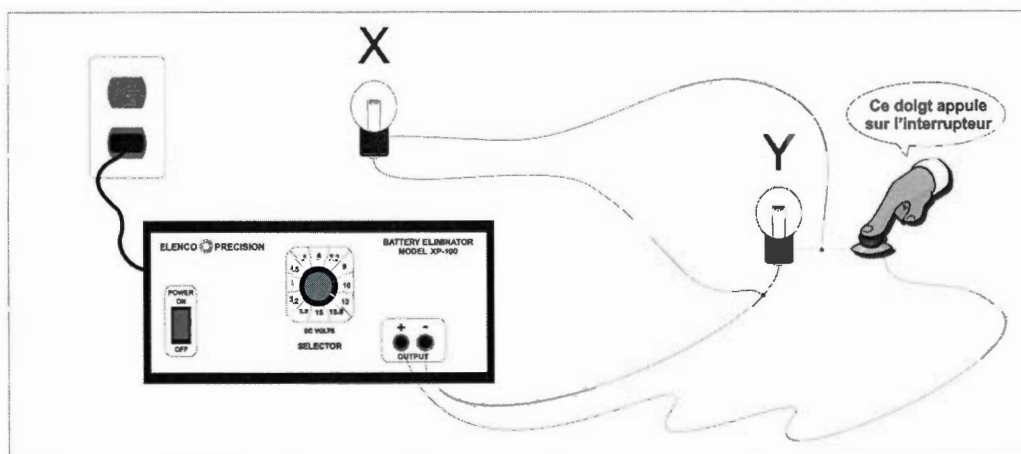
Raison :

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

¹⁵ Question tirée de Potvin et al. (2011)

4. Sachant que les ampoules X et Y sont tout à fait identiques, dites laquelle des deux est celle qui allumera le plus fort¹⁶.



- a) L'ampoule X
- b) L'ampoule Y
- c) Une des deux, mais je ne sais pas laquelle
- d) Les deux ampoules allumeront aussi fort l'une que l'autre
- e) Une des deux ampoules (X ou Y) ne va pas s'allumer du tout

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

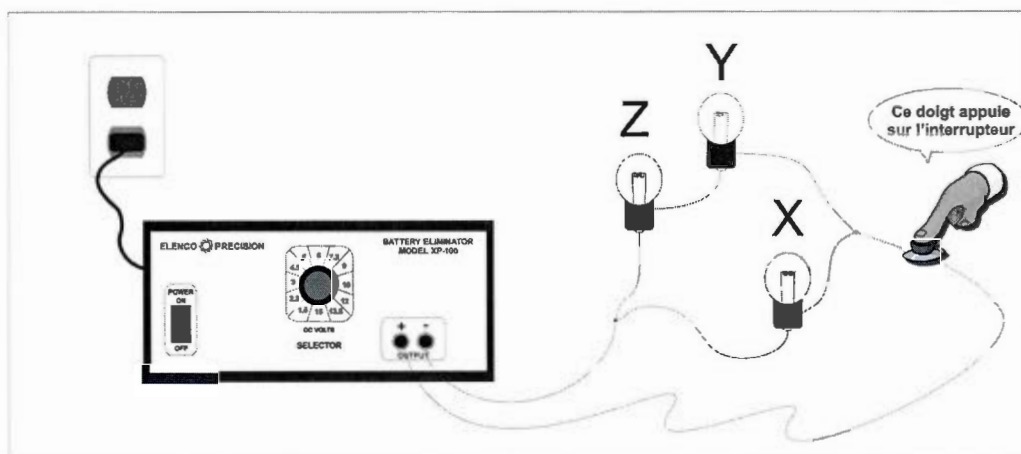
Raison :

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

¹⁶ Question tirée de Potvin et al. (2011)

5. Sachant que les ampoules X, Y et Z sont tout à fait identiques, dites laquelle des trois est celle qui allumera le moins fort (ou pas du tout)¹⁷.



- a) L'ampoule X
- b) L'ampoule Y
- c) L'ampoule Z
- d) Les ampoules Y et Z allumeront aussi fort l'une que l'autre, mais moins fort que X
- e) Les trois ampoules allumeront aussi fort l'une que l'autre

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

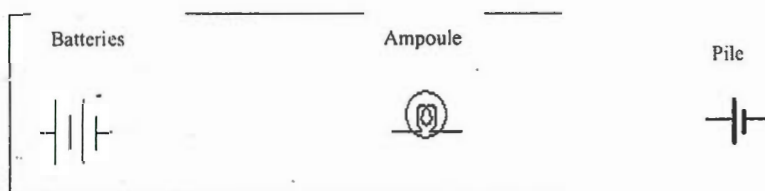
Raison :

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

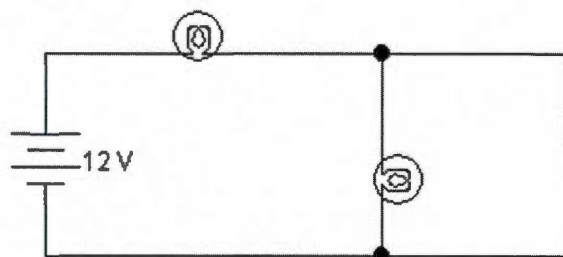
¹⁷ Question tirée de Potvin et al. (2011)

Pour les questions 6 à 11, certains de ces symboles sont utilisés :



Toutes les résistances, toutes les piles et toutes les ampoules sont toujours identiques à moins qu'un avis contraire soit inscrit pour une question en particulier. De plus, considérez que les fils ont une résistance négligeable.

6. Comparez l'intensité lumineuse des ampoules 1 et 2 dans ce circuit.
Quelle ampoule est la plus intensément allumée¹⁸ ?



- a) L'ampoule 1 est plus lumineuse.
- b) L'ampoule 2 est plus lumineuse.
- c) Les deux ampoules sont aussi lumineuses l'une que l'autre.

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

Raison :

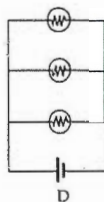
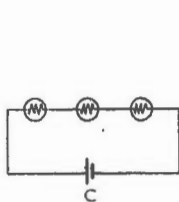
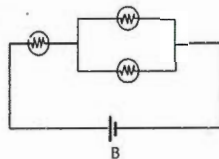
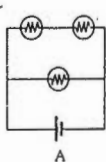
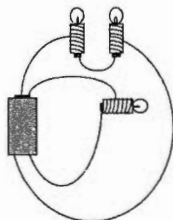
- a) Parce qu'aucun courant ne circulera dans le fil.
- b) Parce que les ampoules sont dans un circuit en parallèle.
- c) Parce qu'aucun courant ne passera dans l'ampoule 1.
- d) Parce qu'aucun courant ne passera dans l'ampoule 2.
- e) Autre raison (veuillez précisez) :

- Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

¹⁸ Question traduite de Sabah (2007, p. 128)

7. Lequel des schémas représente le mieux le circuit réaliste dessiné ci-dessous¹⁹ ?



- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) Aucun.

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

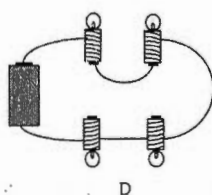
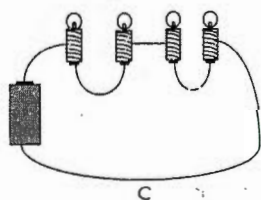
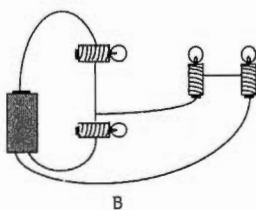
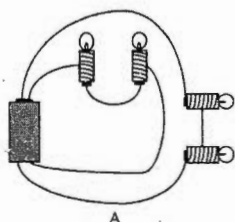
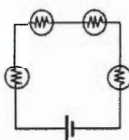
Raison :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

¹⁹ Question tirée et traduite de Engelhardt et Beichner (2004, p. 110)

8. Quel(s) dessin(s) de circuit(s) réaliste(s) corresponde(nt) au schéma ci-dessous²⁰ ?



- a) B
- b) C
- c) D
- d) A et B
- e) C et D

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

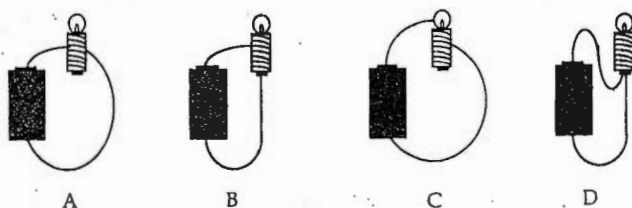
Raison :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

²⁰ Question tirée et traduite de Engelhardt et Beichner (2004, p. 112)

9. Est-ce que toutes les ampoules ont la même intensité lumineuse²¹ ?



- a) Oui
- b) Non

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

Raison :

- a) Parce que toutes les ampoules sont dans un même type de circuit simple.
- b) Parce que seulement l'ampoule B allumera. Les autres ampoules ne sont pas bien connectées dans le circuit.
- c) Parce que seulement l'ampoule D allumera. Les autres ampoules ne sont pas bien connectées dans le circuit.
- d) Parce que l'ampoule C n'allumera pas tandis que les ampoules A, B et D allumeront.
- e) Autre raison (veuillez précisez) :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

²¹ Question tirée et traduite de Engelhardt et Beichner (2004, p. 113)

10. Est-ce que l'ampoule de ce circuit est allumée²² ?



- a) Oui
- b) Non

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

Raison :

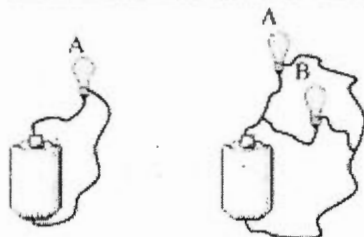
- a) Parce que l'électricité peut circuler du haut de la pile à l'ampoule directement.
- b) Parce que n'importe quelle connexion entre la pile et l'ampoule fait allumer l'ampoule.
- c) Parce que l'électricité ne peut circuler dans le circuit.
- d) Parce que l'électricité peut seulement circuler à partir d'un côté de la pile.
- e) Autre raison (veuillez précisez) :

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut niveau de confiance	5	4	3	2	1	0	Plus bas niveau de confiance
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

²² Question traduite et adaptée de Sencar et Eryilmaz (2004, p. 609)

11. Y aura-t-il un changement dans l'intensité lumineuse de l'ampoule A quand l'ampoule B (qui est équivalente à l'ampoule A) est connectée au circuit comme dans le deuxième circuit ci-dessous²³ ?



- a) Oui
- b) Non

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre réponse :

Plus haut
niveau de
confiance

5

4

3

2

1

0

Plus bas
niveau de
confiance

Raison (complétez la phrase que vous choisissez comme raison):

- a) L'intensité lumineuse de l'ampoule A va diminuer parce que _____

- b) L'intensité lumineuse de l'ampoule A va augmenter parce que _____

- c) L'intensité lumineuse de l'ampoule A ne changera pas parce que _____

• Veuillez encercler votre niveau de confiance à propos de votre raison:

Plus haut
niveau de
confiance

5

4

3

2

1

0

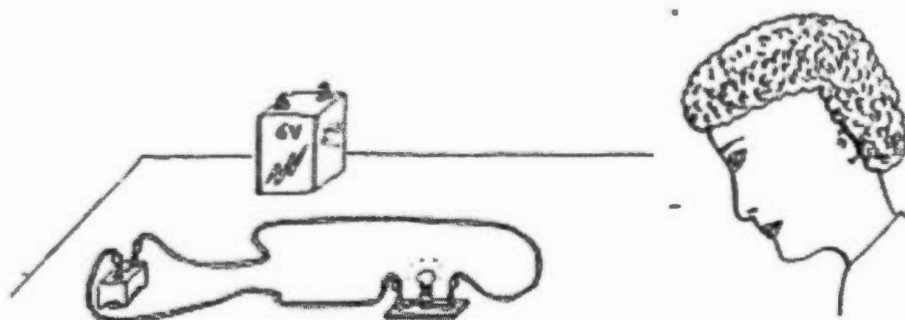
Plus bas
niveau de
confiance

²³ Question traduite et adaptée de Sencar et Eryilmaz (2004, p. 609).

Les dernières questions sur les concepts en électricité sont à réponse ouverte. Utilisez l'espace nécessaire écrire votre réponse.

12. Mise en situation²⁴ :

L'enseignant a donné à Julie 2 piles à utiliser. Julie a branché son circuit avec une pile de 1,5 volts et l'ampoule est allumée.



Lorsque Julie change la pile et utilise la pile de 6 volts, l'ampoule allume plus intensément, plus fort.

Veuillez écrire comment, selon vous, la différence entre «1,5 volt» et «6 volts» occasionne ce changement d'intensité de l'ampoule. Quelle est votre interprétation ?

²⁴ Question traduite et adaptée de Summers et al. (1998, p. 124)

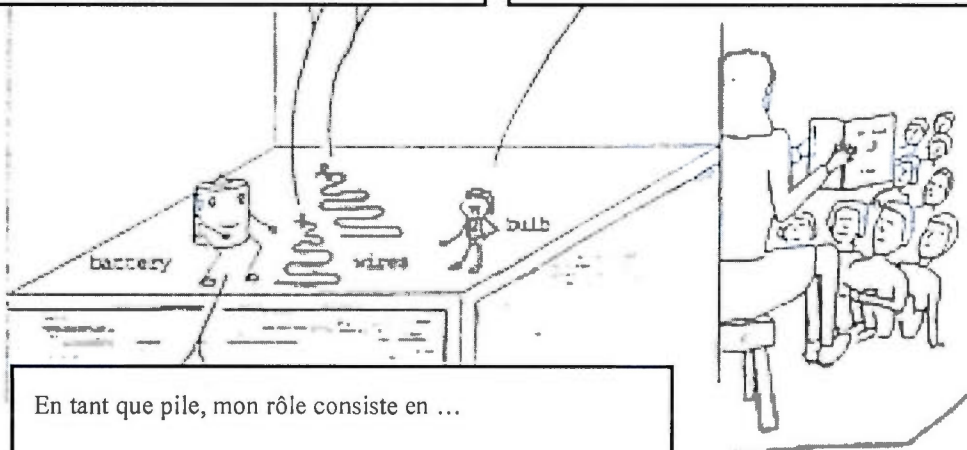
13. Mise en situation²⁵ :

Imaginez que les composantes d'un circuit électrique puissent avoir une discussion pour expliquer leur rôle dans le circuit. Elles expliquent le rôle qu'elles ont, leur «travail» lorsqu'ils sont branchés tous ensemble pour faire allumer l'ampoule.


Veuillez écrire dans chaque bulle ce que vous pensez qu'ils raconteraient à leurs collègues à propos de leur rôle dans le circuit...

En tant que fils, notre rôle consiste en ...

En tant qu'ampoule, mon rôle consiste en ...



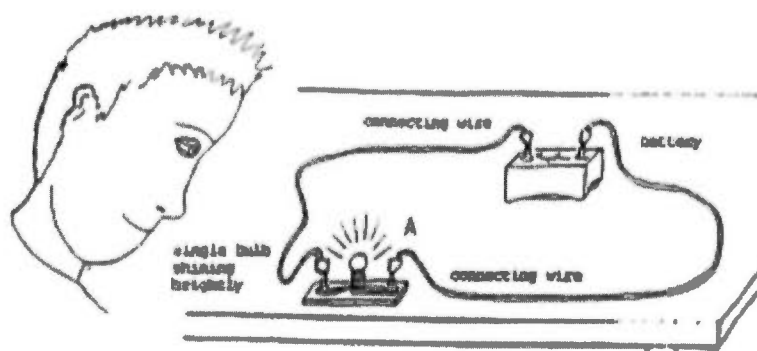
En tant que pile, mon rôle consiste en ...



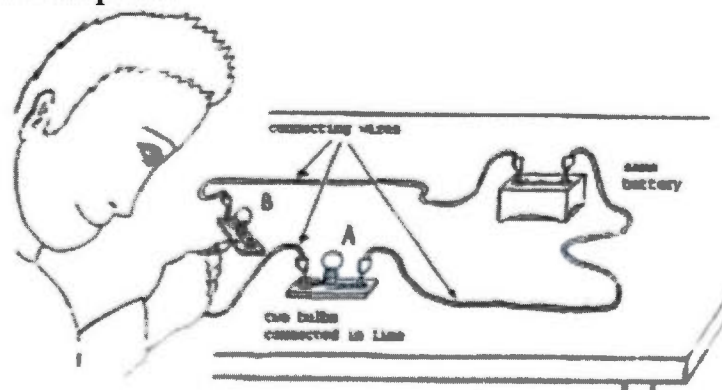
²⁵ Question traduite et adaptée de Summers et al. (1998, p. 123)

14. Mise en situation²⁶ :

David a branché son circuit et l'ampoule s'allume intensément.



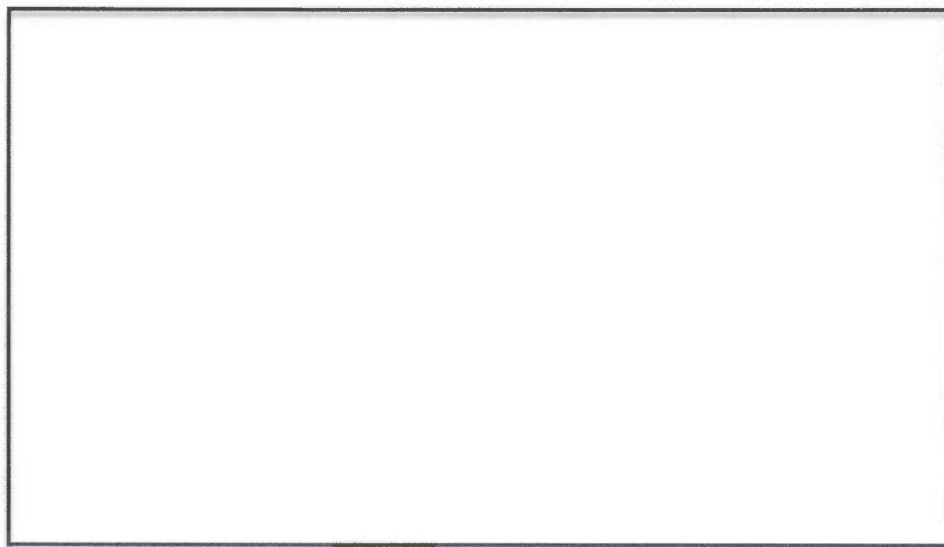
Dans l'image qui suit, on voit David qui est en train de brancher une autre ampoule au circuit (une ampoule identique à l'autre), en ligne avec la première ampoule.



Dans l'espace ci-dessous, écrivez ce que vous pensez qui arrivera à l'intensité lumineuse de chacune des ampoules lorsque David aura terminé de brancher le circuit. Tentez de justifier votre réponse.

²⁶ Question traduite et adaptée de Summers et al. (1998, p. 126)

15. Selon vous, et dans vos mots, comment interprétez-vous la notion de *courant électrique* ²⁷?



²⁷ Question traduite et adaptée de Summers et al. (1998, p. 123)

APPENDICE E

GUIDE DE QUESTIONS POUR LES ENTREVUES SEMI- DIRIGÉES AVEC LES ENSEIGNANTS PARTICIPANTS (PRÉFORMATION ET POSTFORMATION)

Introduction

Je vous remercie de participer à ce projet de recherche développement. Merci de votre engagement, un engagement que vous avez le droit de rompre. Cette entrevue comporte une quinzaine de questions et des sous-questions pour ouvrir la discussion. Elle est enregistrée. Prenez votre temps pour répondre.

QUESTIONS POSÉES LORS DE LA PREMIÈRE ENTREVUE

1. Quel est votre nom ?
2. Combien d'années d'expérience avez-vous comme enseignant au primaire ?
 - i. Combien d'années d'expérience avez-vous comme enseignant du troisième cycle du primaire ?
3. Quelle est votre scolarité par rapport aux sciences? À quand remonte le dernier cours que vous avez suivi et la dernière formation suivie en sciences ?
4. En général, vous intéressez-vous aux sciences et technologies ?
 - i. Vous intéressez-vous à l'actualité scientifique en général (internet, revues de vulgarisation scientifique...) ?
5. Quel est votre niveau de confort et de confiance en général par rapport aux sciences, par rapport à l'enseignement des sciences, par rapport à l'électricité en particulier ? Pouvez-vous donner une cote entre 1 et 10 (par exemple, 1 correspondant à peu de confiance et 10 à beaucoup de confiance)
6. À quelle fréquence enseignez-vous les sciences normalement pendant l'année scolaire? Combien de fois par année ? Par mois ?
7. Qu'est-ce qui va bien dans votre enseignement en sciences et technologie ?
 - i. Qu'est-ce qui fait que ces éléments vont bien ? (*le temps, le matériel, le manuel, un collègue scientifique,...*)
 - ii. Quelles sont vos forces en sciences et technologie ?
8. Qu'est-ce qui va moins bien dans votre enseignement en sciences et technologie ?
 - i. Qu'est-ce qui fait que cela va moins bien? (*le temps, le matériel, le manuel, un collègue scientifique,...*)
 - ii. Quels sont vos défis ?
9. Quand vous faites des sciences, qu'est-ce que vous faites comme activités ?
 - i. Donnez quelques exemples...

- ii. Quel est votre but ?
 - iii. Comment structurez-vous votre contenu dans votre planification dans l'année ?
10. Que font les élèves pendant les périodes sciences ? Quel rôle jouent-ils ?
11. Que faites-vous pendant les périodes sciences, quel rôle vous attribuez-vous ?
- i. Quelles sont vos interactions avec les élèves ?
 - ii. Quelles sont les interactions entre les élèves ?
12. Comment vos activités sont-elles organisées...
- i. Par rapport au matériel ?
 - ii. Par rapport aux regroupements d'élèves ?
 - iii. Par rapport à la durée, au temps ?
13. Quelles sont les conditions à remplir pour favoriser, réussir, un apprentissage scientifique chez nos élèves ? Nommez en 4, dites-moi pourquoi.
14. *Si savoirs préalables abordés...* Comment les élèves en viennent-ils à avoir de telles connaissances préalables (*reprendre leur expression*) ?
15. *Si savoirs préalables abordés...* Doit-on en tenir compte dans l'enseignement ?
- i. Comment en tenir compte dans l'enseignement ?
16. *Si savoirs préalables abordés...* Parmi les types d'activités suivantes, lesquelles faut-il prioriser lors de l'enseignement des sciences lorsque les élèves ont un savoir erroné par rapport à un phénomène ? Expérimentation, démonstration, cours magistral, recherche, lecture, discussion, questionnement.
17. *Si savoirs préalables abordés, si questionnement est abordé...* Que faire de ce savoir préalable s'il est faux ou erroné ?

QUESTIONS POSÉES LORS DE LA DEUXIÈME ENTREVUE, APRÈS LA FORMATION **** Les questions précédées d'un astérisque et surlignées en gris ont également été posées lors de la première entrevue - certaines sont légèrement reformulées****

Cette entrevue sera enregistrée. Elle comporte trois blocs : des questions sur la formation, des questions sur ce que vous avez vécu en classe et des questions que je vous avais déjà posées lors de la première entrevue.

Bloc sur la formation

18. Faites-moi un bilan des apprentissages avez-vous réalisés :
 - i. par rapport aux concepts en électricité;
 - ii. par rapport aux conceptions;
 - iii. par rapport au changement conceptuel (les pratiques qui le suscitent).
19. Qu'est-ce qui a été difficile pour vous lors de la formation en ce qui concerne :
 - i. les concepts en électricité ?
 - ii. les pratiques qui favorisent le changement conceptuel ?
20. *Maintenant que vous avez suivi cette formation, je vous demande à nouveau : quel est votre niveau de confort et de confiance en général par rapport à l'enseignement des sciences et par rapport à l'électricité en particulier? À la première entrevue vous m'aviez dit : cote X pour l'enseignement et cote X pour l'électricité. Pouvez-vous donner la cote actuelle qui qualifierait votre niveau de confort (entre 1 et 10 : 1 correspondant à peu de confiance et 10 à beaucoup de confiance) ?
21. Votre vision, votre compréhension de la bonne manière d'enseignement des sciences a-t-elle changé ? Si oui, en quoi a-t-elle changé ?

Bloc sur ce que vous avez vécu en classe avec vos élèves en électricité

22. Vous aviez planifié les activités comme suit (mentionner les grandes lignes de la planification).
 - i. Est-ce que les activités se sont déroulées comme prévu ? Avez-vous apporté des modifications en cours de route ?
 - ii. L'enseigneriez-vous de la même façon l'an prochain à un autre groupe d'élève ? Quels changements apporteriez-vous si vous aviez à enseigner à nouveau cette séquence d'enseignement ?

23. Lorsque je suis venue en classe, j'ai observé ce qui suit (mentionner les grandes lignes de mes observations).

- i. Est-ce que ces pratiques sont représentatives ? Si non, qu'avez fait de plus, de différent?

24. Quels étaient vos objectifs? À quel niveau les avez-vous atteints ?

Bloc sur votre enseignement des sciences à l'avenir + questions déjà posées

25. Mise en situation : étant donné la formation suivie, enseigneriez-vous de la même façon une activité comme celle dont vous m'avez parlé lors de la première entrevue (donner l'exemple) ? Si non, quelles modifications apporteriez-vous ?

Les questions suivantes sont posées lorsqu'une façon différente est envisagée par le sujet.

26. *Quand vous ferez des sciences, qu'est-ce que vous ferez comme activités ?

- i. Donnez quelques exemples...
- ii. Quel sera votre but ?
- iii. Comment structurerez-vous votre contenu dans votre planification dans l'année ?

27. *Que feront les élèves pendant les périodes sciences? Quel rôle joueront-ils ?

28. *Que ferez-vous pendant les périodes sciences, quel rôle vous attribuerez-vous ?

- i. Quelles seront vos interactions avec les élèves ?
- ii. Quelles seront les interactions entre les élèves ?

29. *Comment vos activités seront-elles organisées...

- i. Par rapport au matériel ?
- ii. Par rapport aux regroupements d'élèves ?
- iii. Par rapport à la durée, au temps ?

Bloc des questions déjà posées telles quelles

30. *Quelles sont les conditions à remplir pour favoriser, réussir, un apprentissage scientifique chez nos élèves ? Nommez en 4, dites-moi pourquoi.
31. *Comment les élèves en viennent-ils à avoir des conceptions ?
32. *Comment en tenir compte dans l'enseignement ?
33. *Parmi les types d'activités suivantes, lesquelles faut-il prioriser lors de l'enseignement des sciences lorsque les élèves un savoir erroné par rapport à un phénomène ? Expérimentation, démonstration, cours magistral, recherche, lecture, discussion, questionnement.

APPENDICE F

GUIDE DE L'ENTRETIEN DE GROUPE

Guide de questions pour l'entretien de groupe

Les idées de réponses de la formatrice sont indiquées en italique (pour conclure les échanges par rapport à une question). Le texte en gris indique les objectifs en lien avec la question.

Introduction :

Nous nous sommes rencontrés régulièrement au cours des deux derniers mois : 1 rencontre individuelle, 5 rencontres de formation, je vous ai visités dans vos milieux...

Après tout ce que nous avons vécu et partagé, nous allons faire un postmortem.

Votre rétroaction est d'autant plus importante que vous êtes des enseignants et que ma formation s'adresse à des enseignants. Vos commentaires visent l'amélioration de la formation : pour vous (je vous ferai parvenir les documents mis au point), pour les prochains formés.

Vous n'avez pas à être consensuels, chacun peut me soumettre ses commentaires, qu'ils convergent ou non avec ceux des autres.

**** (avoir distribué une feuille vierge) **** Chaque fois qu'il y a quelque chose que vous êtes moins à l'aise de dire à voix haute, écrivez-le sur la feuille vierge...

Tour de table sur la formation en général:

En lien avec l'objectif de recherche suivant: OS2

Avant de faire un retour structuré, j'aimerais faire un tour de table... En quelques mots, positifs ou négatifs, que voudriez-vous dire ?

Ma réponse : Je tiens à vous dire que j'ai beaucoup appris moi-même comme formatrice au cours de cette formation : vous avez été d'authentiques apprenants, vous n'avez pas hésité à poser des questions.

2^e tour de table : Qu'avez-vous appris ?

Ma réponse : J'ai le sentiment que vous avez pris confiance en vous familiarisant avec les circuits en série, en parallèle, avec les concepts de courant, de voltage, de résistance, avec le fait que les enfants ont des conceptions fréquentes «prévisibles»

3^e tour de table : Si vous aviez à qualifier la différence entre vos connaissances (en électricité et par rapport à l'enseignement de l'électricité, le changement conceptuel) avant et après la formation, diriez-vous qu'il n'y a pas de différence significative, un peu de différence, beaucoup de différence, énormément de différence (à la folie) ?

Ma réponse : Je vous ai vues chacune à tour de rôle avoir un moment de compréhension soudain, j'ai l'impression qu'il y a eu quelques moments où vous avez fait des petits bonds.

Activités

En lien avec l'objectif de recherche suivant: OG

J'aimerais savoir quelles ont été les activités les plus profitables pour vous, les plus intéressantes (autant dans matériel magistral que dans les activités plus pratiques) ?

Ma réponse : Les images pour certains...

Quels bouts sont plus compliqués, moins utiles, moins compris... ?

Ma réponse : Je sais que les défis ont pu être difficiles à relever pour certains. Un retour après chaque défi aurait peut-être été souhaitable, un peu comme vous le faites avec vos élèves.

Pourriez-vous me décrire la formation ?

Ma réponse : Beaucoup d'activités de manipulation sur les concepts en électricité, des retours sur l'importance de prendre en compte les conceptions des élèves en électricité, sur les pratiques qui favorisent le changement conceptuel...

(S'ils ne sont pas revenus sur certaines activités, je vais montrer ce que nous avons fait pour chacune des journées pour leur rafraîchir la mémoire)

Jour 1 – parlez-moi des activités du jour 1

Utile, pas utile, intéressant, moins intéressant. En manquait-il une ?...

Jour 2 - parlez-moi des activités du jour 2

Utile, pas utile, intéressant, moins intéressant. En manquait-il une ?...

Jour 3 - parlez-moi des activités du jour 3

Utile, pas utile, intéressant, moins intéressant. En manquait-il une ?...

Jour 4 - parlez-moi des activités du jour 4

Utile, pas utile, intéressant, moins intéressant. En manquait-il une ?...

Jour 5 - parlez-moi des activités du jour 5

Utile, pas utile, intéressant, moins intéressant. En manquait-il une ?...

Jour 6 - parlez-moi des activités du jour 6

Utile, pas utile, intéressant, moins intéressant. En manquait-il une ?...

Le matériel (électrique, didactique)

En lien avec les objectifs de recherche suivants : OG et OS3

Qu'avez-vous pensé du matériel électrique qui a été mis à votre disposition : suffisant, adapté ? En manquait-il ? Y a-t-il quelque chose que vous auriez ajouté ? Quelque chose de trop ?

Ma réponse : Je pense qu'il y avait suffisamment de matériel (individuel ou en équipe de deux).

Qu'avez-vous pensé du matériel didactique (les copies d'exercices, les power point, les photos, ...) ? Y en avait-il suffisamment ? Était-il adapté ? Y a-t-il quelque chose que vous auriez ajouté ? Quelque chose de trop ?

Ma réponse : J'ai photocopié les documents dont j'avais besoin pour que vous puissiez garder vos notes...

Le partage du temps de pratique (exercices et planification) versus le temps magistral et interactif (retour sur les exercices, exposé sur le changement conceptuel) était-il adéquat ou pas bien balancé ?

En lien avec les objectifs de recherche suivants : OG et OS3

Ma réponse : Je tenais à vous mettre le plus possible en action ou en planification. Je sais que plus de temps de planification aurait été bienvenu, mais je ne vois pas ce qui aurait pu être coupé...

Nombre de sessions, durée, heures (8h30 à 11h30)

En lien avec les objectifs de recherche suivants : OG et OS3

Y avait-il suffisamment de sessions ?

Était-ce trop long, pas assez long ?

L'horaire convenait-il ?

Ma réponse : Je pense qu'il y avait suffisamment de sessions à propos des contenus (3 et demie), mais qu'une demi-journée de plus pour la planification serait pertinente.

Conclusion

Être parmi vous cet automne m'a donné un lieu de travail ad hoc. Je me suis attachée, vous êtes mon deuxième groupe, sans vous ma collecte de données, donc mon doctorat, n'aurait pas été possible...

Si jamais vous repensez à quelque chose, écrivez-moi. Si vous avez des commentaires qui vous viennent en tête, des questions sur votre planification, sur l'électricité, ou même sur l'enseignement d'autres concepts en science et technologie, n'hésitez pas à m'écrire, je suis disponible pour vous.

*** Avant de partir, inscrivez quelques dernières petites notes sur votre feuille verte :
1) recommanderiez-vous cette formation à vos collègues et amis enseignants ? 2) Vos commentaires sur la formatrice...

RÉFÉRENCES

- Afra, N. C., Osta, I. et Zoubeir, W. (2009). Students' alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 103-132.
- Appleton, K. (2007). Elementary science teaching. Dans S. K. Abell et N. G. Lederman (dir.), *Handbook of Research on Science Education* (p. 493-535). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique (*Recherches en didactique des mathématiques* (p. 281-308). Grenoble: La pensée sauvage éditions.
- Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique: quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui? *Les dossiers des sciences de l'éducation* (8), 59-72.
- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris: Éditions ESF.
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997a). *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies*. Paris-Bruxelles: De Boeck Université.
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997b). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Paris-Bruxelles: De Boeck Université.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. et Vérin, A. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences*. (2^e éd.). Paris: Retz.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Bachelard, G. (1989). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Librairie philosophique J. Vrin.
- Bednarz, N. et Barry, S. (2010). Recherches collaboratives en enseignement des mathématiques comme soutien au développement professionnel des enseignants. Dans C. Couture et L. Dionne (dir.), *La formation et le*

développement professionnel des enseignants en sciences, technologie et mathématiques (p. 225-254). Ottawa, ON: Les Presses de l'Université d'Ottawa.

- Bégin, Y. (1978). *Individualisation de l'enseignement. Pourquoi?* Sainte-Foy, QC: INRS Éducation.
- Bélangier, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. Thèse de doctorat inédite, Université de Montréal, Montréal.
- Bêty, M.-N. (2009). *Les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement des sciences au primaire: état de la question*. Mémoire non publié, Université de Montréal, Montréal.
- Blank, R. K. et de las Alas, N. (2010). Effects of teachers professional development on gains in student achievement: how meta analysis provides scientific evidence useful to education leaders. Evanston, IL: Society for Research on Educational Effectiveness.
- Boutin, G. (2007). *L'entretien de groupe en recherche et formation*. Montréal, QC: Éditions Nouvelles.
- Broekkamp, H. et van Hout-Wolters, B. (2007). The gap between educational research and practice: A literature review, symposium, and questionnaire. *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, 13(3), 203 – 220.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée sauvage, éditions.
- Bru, M. (1991). *Les variations didactiques dans l'organisation des conditions d'apprentissage*. Toulouse: Éditions Universitaires du Sud.
- Bru, M. (2006). *Les méthodes en pédagogie*. Paris: Presses universitaires de France.
- Bryce, T. et MacMillan, K. (2005). Encouraging conceptual change: the use of bridging analogies in the teaching of action-reaction forces and the 'at rest' condition in physics. *International Journal of Science Education*, (27), 737-763.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, MA: The Massachusetts Institute of Technology Press.

- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Carlton, K. (1999). Teaching electric current and electrical potential. *Physics Education*, 34(6), 341-345.
- Cepni, S. et Keles, E. (2006). Turkish students' conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, 269-291.
- Chi, M. T. H. et Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. Dans M. Limón et L. Mason (dir.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice* (p. 3-27). Dordrecht, Pays-Bas: Kluwer Academic Publishers.
- Clement, J. J. et Steinberg, M. S. (2002). Step-wise evolution of mental models of electric circuits: a "learning-aloud" case study. *The Journal of the Learning Science*, 11(4), 389-452.
- Conseil de la science et de la technologie (CST) (2006). *Mémoire sur la mise à jour de la politique québécoise de la science et de l'innovation*. Sainte-Foy, QC: Gouvernement du Québec.
- Conseil de la science et de la technologie [CST] (2002). *La culture scientifique et technique au Québec : Bilan*. Sainte-Foy, QC: Gouvernement du Québec.
- Conseil supérieur de l'éducation (2013). *L'enseignement de la science et de la technologie au primaire et au premier cycle du secondaire. Avis présenté à la ministre de l'Éducation, du Loisir et du Sport*. Gouvernement du Québec.
- Couture, C. (2002). *Étude du processus de co-construction d'une intervention en sciences de la nature au primaire par une collaboration praticien-chercheur*. Thèse de doctorat inédite, Université du Québec à Chicoutimi et Université du Québec à Montréal, Chicoutimi et Montréal.
- Couture, C. (2010). Accompagner des enseignants pour conjuguer développement pédagogique et didactique des sciences: un exemple de collaboration praticiens-chercheurs. Dans C. Couture et L. Dionne (dir.), *La formation et le développement professionnel des enseignants en sciences, technologie et mathématiques* (p. 131-150). Ottawa, ON: Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry and Research Design : Choosing Among Five Approaches*. (2^e éd.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

- Deslauriers, J.-P. (1991). *Recherche qualitative, guide pratique*. Montréal, QC: Chenelière/McGraw-Hill.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. Dans G. Forman et P. B. Pufall (dir.), *Constructivisme in the Computer Age* (p. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 et 3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 35-60). New York, NY: Routledge.
- diSessa, A. A. et Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: consequence for learning science. Dans S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (dir.), *The Psychology of Learning Science* (p. 65-85). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duit, R. et Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duit, R. et Treagust, D. F. (2012). How Can Conceptual Change Contribute to Theory and Practice in Science Education. Dans B. J. Fraser, K. Tobin et C. J. McRobbie (dir.), *Second International Handbook of Science Education* (Vol. 1, p. 107-118). New York, NY: Springer.
- Duit, R., Treagust, D. F. et Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change : theory and practice. Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 629-646). New York, NY: Routledge.
- Dupin, J. J. et Joshua, S. (1989). Analogies and « modeling analogies » in teaching: some example in basic electricity. *Science Education*, 73(2), 207-224.
- Dupin, J. J. et Joshua, S. (1994). Analogies et enseignement des sciences : une analogie thermique pour l'électricité. *Didaskalia*(4), 9-26.

- Eastes, R.-E. et Pellaud, F. (2004). Un outil pour apprendre : l'expérience contre-intuitive. *Union des professeurs de physique et de chimie*, 98(juillet/août/septembre 2004), 1197-1208.
- Ebert, E. K. et Crippen, K. J. (2010). Applying a cognitive-affective model of conceptual change to professional development. *Journal of Science Teacher Education*, 21(3), 371-388.
- Engelhardt, P. et Beichner, R. (2004). Students understanding of direct current resistive electrical forces. *American Journal of Physics*, 71(1), 98-115.
- Erickson, F. (1998). Qualitative research methods for science education. Dans B. J. Fraser et K. G. Tobin (dir.), *International Handbook of Science Education* (p. 1155-1173). Dordrecht, Pays-Bas: Kluwer Academic Publishers.
- Fouad, A.-E.-K., Bell, R. L. et Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Fraser, B. J. (2007). Classroom learning environments. Dans S. K. Abell & N. G. Lederman (Dir.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 103-124). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gagné, G., Lazure, R., Sprenger-Charolles, L. et Ropé, F. (1989). *Recherche en didactique et acquisition du français langue maternelle*. Montréal, QC: De Boeck-Université.
- Gauthier, D. et Gaudreau, D. (2010). Vers des interventions pédagogiques plus adaptées en sciences et technologie réalisées dans le cadre du travail d'une communauté de pratique. Dans C. Couture et L. Dionne (dir.), *La formation et le développement professionnel des enseignants en sciences, technologie et mathématiques* (p. 91-108). Ottawa, ON: Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Gauthier, D., Gaudreau, D. et Routhier, G. (2007). Enseigner les sciences au primaire en passant par la formation continue. Dans P. Potvin, M. Riopel et S. Masson (dir.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (p. 228-240). Sainte-Foy, QC: Éditions MultiMondes.
- Giordan, A. (1989). Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique. Dans N. Bednarz et C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs : obstacles et conflits* (p. 240-257). Montréal, QC: Éditions Agence d'ARC.
- Giordan, A. (1998). *Apprendre!* Paris: Belin.

- Giordan, A. (2002). Après Piaget, que peut-on dire sur le changement conceptuel. Dans R. M. J. Toussaint (dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (p. 13-29). Montréal: Éditions Logiques.
- Glynn, S. M. (2007). Methods and strategies : teaching-with-analogy model. *Science and Children*, 44(8), 52-55.
- Glynn, S. M., Duit, R. et Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies : a strategy for constructing knowledge. Dans S. M. Glynn et R. Duit (dir.), *Learning Science in the Schools, Research Reforming Practice* (p. 247-273). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gonzalez-Martin, A. S. (2005). *La generalización de la integral definida desde las perspectivas numérica, gráfica y simbólica utilizando entornos informáticos. Problemas de enseñanza y de aprendizaje*. Universidad de la Laguna, Espagne.
- Gorard, S., Roberts, K. et Taylor, C. (2004). What kind of creature is a design experiment? *British Educational Research Journal*, 30(4), 577-590.
- Gouvernement du Québec. (2005). Régime pédagogique de l'éducation préscolaire, de l'enseignement primaire et de l'enseignement secondaire. *Gazette Officielle* (23).
- Harvey, S. et Loisel, J. (2009). Proposition d'un modèle de recherche développement. *Recherches qualitatives*, 28(2), 95-117.
- Heller, P. M. et Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: A case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259-275.
- Herry, Y. (2000). Enseignement et apprentissage des sciences: résultats de la troisième enquête internationale. *Revue des sciences de l'éducation*, XXVI(2), 347-366.
- Hewson, P. W. et Beeth, M. E. (1993). *Teaching for conceptual change: examples from force and motion*. Communication présentée au IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas à Barcelone, Espagne, du 13 au 16 septembre 1993, Barcelone, Espagne, du 13 au 16 septembre.
- Inagaki, K. et Hatano, G. (2008). Conceptual change in naïve biology. Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 240-262). New York, NY: Routledge.

- Jones, G. et Edmunds, J. (2006). Models of elementary science instruction: roles of science specialist teachers. Dans K. Appleton (dir.), *Elementary Science Teacher Education* (p. 317-343). Mahwah, NJ: Lawrence erlbaum associates, publishers.
- Joyce, B. et Showers, B. (2002). *Student achievement through staff development*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Kuhn, T. S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Leach, J. T. et Scott, P. H. (2008). Teaching for conceptual understanding: An approach drawing on individual and sociocultural perspectives. Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 647-675). New York, NY: Routledge.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. Dans S. K. Abell et N. G. Lederman (dir.), *Handbook of Research on Science Education* (p. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence erlbaum associates.
- Lee, C.-Q. et She, H.-C. (2010). Facilitating students' conceptual change and scientific reasoning involving the unit of combustion. *Research in Science Education*, 40(4), 479-504.
- Legendre, M.-F. (2002). Le rôle du raisonnement qualitatif dans les processus de changement conceptuel et ses implications pour l'enseignement et la formation des enseignants. Dans R. M. J. Toussaint (dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences: recherches et pratiques* (p. 177-202). Montréal: Les Éditions Logiques.
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. (3^e éd.). Montréal: Guérin.
- Lenoir, Y., Larose, F., Grenon, V. et Hasni, A. (2000). La stratification des matières scolaires chez les enseignants du primaire au Québec : évolution ou stabilité des représentations depuis 1981. *Revue des sciences de l'éducation*, XXVI(3), 483-514.
- Liégeois, L. et Mullet, É. (2002). High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, 24(6), 551-564.
- Loiselle, J. (2001). La recherche développement en éducation: sa nature et ses caractéristiques. Dans M. Anadon et M. L'Hostie (dir.), *Nouvelles dynamiques de recherche en éducation* (p. 77-97). Québec, QC: Les Presses de l'Université Laval.

- Loiselle, J. et Harvey, S. (2007). La recherche développement en éducation: fondements, apports et limites. *Recherches qualitatives*, 27(1), 40-59.
- Marcel, J.-F. (2002). La connaissance de l'action et des pratiques enseignantes. Dans J.-F. Marcel (dir.), *Les sciences de l'éducation, des recherches, une discipline* (p. 79-112). Paris: L'Harmattan.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S. et Foy, P. (2008). *TIMSS 2007 Science report - Findings from IEA's trends in international mathematics and science study at the fourth and eighth grades*. Chestnut Hill, MA: TIMSS and PIRLS International Study Center, Boston College.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Gonzalez, E. J. et Chrostowski, S. J. (2004). *TIMSS 2003 Science report - Findings from IEA's trends in international mathematics and science study at the fourth and eighth grades*. Chestnut Hill, MA: TIMSS and PIRLS International Study Center, Boston College.
- Masson, S. (2005). *Effets de l'utilisation de micromondes historiques sur les processus de changement conceptuel en sciences*. Mémoire non publié, Université de Montréal, Montréal.
- Mellado, V. (1997). Preservice teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. *Science and Education*, 6, 331-354.
- Minier, P. et Gauthier, D. (2006). Représentations des activités d'enseignement-apprentissage en sciences et liens avec les stratégies pédagogiques déployées par des enseignants du primaire. *Journal International sur les Représentations Sociales*, 3(1).
- Ministère de l'Éducation du Loisir et du Sport [MELS]. (2006). *Évaluation de l'application du Programme de formation de l'école québécoise - Enseignement primaire. Rapport préliminaire de la Table de pilotage du nouveau pédagogique*. Québec, QC: Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation du Québec [MEQ]. (2001). *Programme de formation de l'école québécoise - Éducation préscolaire et enseignement primaire*. Québec: Gouvernement du Québec.
- OCDE. (2001). *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats du programme international de l'OCDE pour le suivi des acquis des élèves (PISA) 2000*. Paris: OCDE.

- OCDE. (2007). *Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) 2006 : Les compétences en sciences, un atout pour réussir, volume 1 - Analyse des résultats*. Paris: OCDE.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2005). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Paris: Armand Colin.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2008). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. (2^e éd.). Paris: Armand Colin.
- Pellaud, F., Eastes, R.-E. et Giordan, A. (2005). Un modèle pour comprendre l'apprendre: le modèle allostérique. *Gymnasium Helveticum*(1), 28-34.
- Peterson, R., Treagust, D. et Garnett, P. (1986). Identification of secondary students' misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument. *Research in Science Education* (16), 40-48.
- Piquette, J. S. et Heikkinen, H. W. (2005). Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* (42), 1112-1134.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. et Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (2002). *Regard épistémique sur une évolution conceptuelle en physique au secondaire*. Thèse de doctorat inédite, Université de Montréal.
- Potvin, P., Mercier, J., Charland, P. et Riopel, M. (2011). Does classroom explication of initial conceptions favour conceptual change or is it counter-productive? *Research in Science Education*, 1-14.
- Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. et Fournier, F. (2010). Problem-centered learning vs. teaching-centered learning in science at the secondary level: An analysis of the dynamics of doubt. . *Journal of Applied Research on Learning*, 3, Article 5, 1-24.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles: De Boeck.
- Sabah, S. A. (2007). *Developing a two-tiered instrument with confidence levels for assessing students' conceptions of direct current circuits*. Thèse de doctorat inédite, State University of New York at Buffalo, Buffalo.

- Savoie-Zajc, L. (1993). *Les modèles de changement planifié en éducation*. Montréal: Éditions Logiques.
- Savoie-Zajc, L. (2004). La recherche qualitative/interprétative en éducation. Dans T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), *La recherche en éducation: étapes et approches* (p. 123-150). Sherbrooke, QC: Éditions du CRP.
- Schoon, K. J. et Boone, W. J. (1998). Self-efficacy and alternative conceptions of science of preservice elementary teachers. *Science Education*, 82(5), 553-568.
- Schulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Schwarz, C. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744.
- Sencar, S. et Eryilmaz, A. (2004). Factors mediating the effect of gender on ninth-grade turkish students' misconceptions concerning electric circuits. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6), 603-616.
- Shaffer, P. S. et McDermott, L. C. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies. *American Association of Physics Teachers*, 60(11), 1003-1013.
- Strike, K. A. et Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. Dans R. Duschl et R. Hamilton (dir.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, & Educational Theory and Practice* (p. 147-176). Albany, NY: SUNY Press.
- Summers, M., Kruger, C. et Mant, J. (1998). Teaching electricity effectively in the primary school: a case study. *International Journal of Science Education*, 20(2), 153-172.
- Sylla, N. et De Vos, L. (2010). Dispositifs de pratique réflexive en formation initiale et continuée: un pas vers le développement professionnel des enseignant(e)s de biologie du secondaire. Dans C. Couture et L. Dionne (dir.), *La formation et le développement professionnel des enseignants en sciences, technologie et mathématiques* (p. 277-310). Ottawa, ON: Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Taylor, P. C., Fraser, B. J. et Fisher, D. L. (1997). Monitoring constructivist classroom learning environments. *International Journal of Educational Research*, 27, 293-302.

- Thouin, M. (2004). *Enseigner les sciences et la technologie au préscolaire et au primaire*. Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2008). *Tester et enrichir sa culture scientifique et technologique*. Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2009). *Enseigner les sciences et la technologie au préscolaire et au primaire*. (2^e éd.). Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Trumper, R. (2005). Teaching future teachers basic astronomy concepts—seasonal changes—at a time of reform in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9), 879-906.
- Tsai, C.-C. et Wen, M. L. (2005). Research and trends in science education from 1998 to 2002 : a content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education*, 27(1), 3-14.
- Turmel, É. (2012). Mécanismes cérébraux de l'incertitude liés à des conceptions alternatives communes lors d'une tâche cognitive en électricité : une étude IRMf auprès de participants novices. *Spectre*, 42(1), 22-25.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. (2^e éd.). Montréal: Presses de l'Université de Montréal.
- Van der Maren, J.-M. (2003). *La recherche appliquée en pédagogie: des modèles pour l'enseignement*. Bruxelles: De Boeck.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2008a). Conceptual change research: an introduction. Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. xiii-xxviii). New York, NY: Routledge.
- Vosniadou, S. (2008b). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, NY: Routledge.
- Vosniadou, S. et Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X. et Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 3-34). New York, NY: Routledge.

- Webb, P. (1992). Primary science teachers' understanding of electric current.
International Journal of Science Education, 14(4), 423-429.